

TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI GAP  
*INLET DISTURBANCE BODY* TERHADAP ALIRAN  
MELALUI *SQUARE DUCT* DENGAN *ELBOW 90°***

Rizkia Putra Pratama  
NRP 2112 100 068

Dosen Pembimbing  
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI GAP  
*INLET DISTURBANCE BODY* TERHADAP ALIRAN  
MELALUI *SQUARE DUCT* DENGAN *ELBOW 90°***

RIZKIA PUTRA PRATAMA  
NRP. 2112100068

Dosen Pembimbing:  
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENT INVESTIGATION OF FLOW  
THROUGH SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW  
90° WITH GAP OF INLET DISTURBANCE BODY  
VARIANT**

RIZKIA PUTRA PRATAMA  
NRP. 2112100068

Advisory Lecturer  
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

BACHELOR PROGRAM  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI GAP  
INLET DISTURBANCE BODY TERHADAP ALIRAN  
MELALUI SQUARE DUCT DENGAN ELBOW 90°**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZKIA PUTRA PRATAMA**

NRP. 2112 100 068

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT: (Pembimbing)  
NIP. 197104051997021001
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD. (Penguji I)  
NIP. 196412281990031002
3. Nur Ikhwan, ST, M.Eng. (Penguji II)  
NIP. 196709151995121001
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto (Penguji III)  
NIP. 196202161995121001

**SURABAYA**

**JANUARI, 2017**



# **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI GAP INLET DISTURBANCE BODY TERHADAP ALIRAN MELALUI SQUARE DUCT DENGAN ELBOW 90°**

**Nama Mahasiswa** : Rizkia Putra Pratama  
**NRP** : 2112100068  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Udara mengalir melalui instalasi saluran udara yang terdiri dari bagian lurus dan *fitting*. Daerah *fitting* pada saluran udara contohnya *elbow 90°* dapat meningkatkan *pressure drop* karena terjadi separasi dan aliran sekunder. Peningkatan *pressure drop* dapat meningkatkan jumlah konsumsi energi yang dibutuhkan oleh *centrifugal fan* sehingga dalam pembuatan konstruksi saluran udara harus optimal agar tidak terjadi kerugian energi yang besar. Salah satunya dengan metode penambahan bodi pengganggu berupa *inlet disturbance body* (IDB) yang ditempatkan pada posisi tertentu dalam saluran udara untuk mengurangi *pressure drop*.

Model saluran yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *square duct* dengan diameter ( $D_h$ ) sebesar 125 mm. Saluran udara terdiri dari *upstream duct* sepanjang  $7D_h$ , IDB dengan diameter sebesar 12,5 mm, *elbow 90°* dengan rasio kelengkungan ( $R/D_h$ ) sebesar 1,5, *downstream duct* sepanjang  $15D_h$ , dan *centrifugal fan*. Pengukuran parameter menggunakan *pitot static tube*, manometer, dan *pressure transducer*. IDB diletakkan pada jarak ( $l/D_h$ ) sebesar 0,1 dari *inlet elbow 90°* dengan variasi gap ( $g/d$ ) sebesar 0,1 sampai 0,5. Untuk mendapatkan profil kecepatan dan intensitas turbulensi *downstream duct* pada posisi vertikal dan horizontal, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds ( $Re_{D_h}$ )  $8,74 \times 10^4$ . Untuk mendapatkan *pressure coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds ( $Re_{D_h}$ )  $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ . Untuk mendapatkan *pressure drop square*

*duct* dan *loss coefficient elbow 90°*, pengujian dilakukan pada  $Re_{Dh}$  sebesar  $4,09 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,39 \times 10^5$  atau kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s.

Hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan IDB  $g/d=0,2$  dapat menurunkan *pressure drop* sebesar 20,52%, sedangkan  $g/d=0,4$  dapat meningkatkan *pressure drop*. *Loss coefficient* terkecil pada variasi IDB  $g/d=0,2$  dan terbesar pada variasi IDB  $g/d=0,4d$ . Penambahan IDB dapat menurunkan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$ . Peningkatan  $Re_{Dh}$  dapat meningkatkan  $\Delta C_p$  setiap variasi IDB. Penambahan IDB dapat membentuk *shear layer* yang mempunyai intensitas turbulensi lebih tinggi sehingga mampu melawan *advers pressure* atau menunda separasi aliran karena kelengkungan *inner elbow 90°*. Profil kecepatan bidang horizontal terdampak efek *blockage area* dari posisi setelah melewati *inlet elbow 90°* sampai  $x/D_h=8$ . Variasi  $g/d=0,2$  paling mendekati *freestream* pada  $x/D_h=13$ . Profil kecepatan bidang vertikal terdampak efek dari aliran sekunder setelah melewati *outlet elbow 90°* sampai  $x/D_h=5$ . Pada  $x/D_h=8$  sampai 13 terjadi proses *recovery* aliran. Variasi tanpa IDB paling mendekati *freestream* pada  $x/D_h=13$ .

**Kata kunci:** *square duct, elbow 90°, variasi gap, pressure drop, profil kecepatan.*

***EXPERIMENT INVESTIGATION OF FLOW  
THROUGH SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90°  
WITH GAP OF INLET DISTURBANCE BODY  
VARIANT***

**Name** : Rizkia Putra Pratama  
**NRP** : 2112100068  
**Departement** : Mechanical Engineering FTI – ITS  
**Supervisor** : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

***ABSTRACT***

*Air flows through the air duct consist of straight sections and fittings. The example of fitting in the air duct is elbow 90°, elbow 90° increase pressure drop due to the separation, friction, or secondary flow. Pressure drop can increase the amount of energy consumption required by the centrifugal fan, so that the air duct in the manufacture of construction should be optimized in order to avoid loss of energy. The method reduce pressure drop with a inlet disturbance body (IDB), which is placed at a specific position in the air duct reduce pressure drop.*

*The experiment use a model air duct, namely square duct with diameter ( $D_h$ ) 125 mm. The air duct consist of upstream with a  $7D_h$  length, IDB with diameter 12.5 mm, elbow 90° with a radius ratio ( $R/D_h$ ) 1.5, downstream square duct with a  $15D_h$  length, and centrifugal fan. Measurement parameters use pitot static tube, inclined manometer, and pressure transducer. IDB is placed at a distance ( $l / D_h$ ) = 0.1 from the inlet elbow 90° with gap variant ( $g/d$ ) = 0.1 - 0.5. Measurement velocity profile and turbulence intensity downstream square duct on the vertical and horizontal positions use the Reynolds number ( $Re_{D_h}$ )  $8,74 \times 10^4$ . Measurement coefficient pressure elbow 90° use  $Re_{D_h}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , and  $1,35 \times 10^5$ . Measurement pressure drop square duct and loss coefficient elbow 90° use  $Re_{D_h}$  of  $3,97 \times 10^4 \leq Re_{D_h} \leq 1,35 \times 10^5$  (air speed of 5 m / s to 17 m/s with the increase in speed of 1 m/s).*

*The results showed that the addition of IDB  $g/d = 0.2$  can reduce pressure drop by 20.52%, but  $g/d = 0.4$  can increase the pressure drop. The smallest of loss coefficient variant IDB  $g/d = 0.2$ , and the largest on the variant IDB  $g/d = 0.4$ . IDB can reduce  $\Delta C_p$  on  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ .  $\Delta C_p$  increased by the IDB and  $Re_{Dh}$  variant. Extra IDB can form a shear layer that has a higher turbulence intensity to resist adverse pressure or delay flow separation due to the curvature of the inner elbow  $90^\circ$ . The velocity profile horizontal plane of the area affected by the blockage effect after passing through the inlet elbow position  $90^\circ$  to  $x/Dh = 8$ . IDB variant  $g/d = 0.2$  freestream closest to  $x/Dh = 13$ . Vertical velocity profile fields affected by the effects of secondary flow after passing through the outlet elbow  $90^\circ$  until  $x/Dh = 5$ . On  $x/Dh = 8 - 13$  there is a process flow recovery. Variations without IDB closest freestream on  $x/Dh = 13$ .*

**Keyword:** *square duct, elbow  $90^\circ$ , gap variant, pressure drop, velocity profile.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan tugas akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, khususnya Bapak Pangusi dan Ibu Sumilah yang senantiasa mendoakan, mendorong, dan menyemangati penulis selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Saudara kandung penulis, Indra Purnama yang selalu mendoakan penulis agar segera menyelesaikan masa studinya.
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD., Dr. Ir. Heru Mirmanto dan Nur Ikhwan ST., M.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang tugas akhir ini.
5. Nur Ikhwan, ST, M.Eng. selaku kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Mesin Fluida yang telah membantu dalam proses penelitian.
6. Sutrisno selaku karyawan Laboratorium Mekanika Fluida dan Mesin Fluida yang telah membantu dalam proses penelitian.
7. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
8. Teman-teman angkatan M55 yang senantiasa memberi motivasi, menemani, dan meninggalkan kenangan indah bagi penulis selama masa perkuliahan.
9. Mujahidah Azzahra yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, dan semangat agar penulis segera menyelesaikan masa studinya.

10. Pak Wawan Squad, khususnya Saudara Aqfha dan Angga yang selalu memberikan semangat dalam pengambilan data dan malam-malam indahny.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan tugas akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Aliran Fluida .....	7
2.2 Aliran <i>Viscous</i> .....	8
2.3 Aliran Laminar dan Turbulen .....	10
2.4 Aliran Inkompresibel .....	11
2.5 Persamaan Euler Dalam Koordinator <i>Streamline</i> .....	11
2.6 Aliran Di Dalam Saluran Udara .....	13
2.6.1 Proses Terjadinya Separasi Aliran Pada <i>Elbow 90°</i> .....	14
2.6.2 Proses Terjadinya Aliran Sekunder Pada <i>Elbow 90°</i> .....	15
2.7 Head Loss .....	15
2.8 Tekanan .....	17
2.9 <i>Pressure Coefficient</i> .....	19
2.10 Intensitas Turbulensi .....	20
2.11 Penelitian Terdahulu .....	20

### BAB III METODOLOGI

3.1 Skema Penelitian .....	27
----------------------------	----

3.2	Peralatan Pendukung .....	28
3.2.1	<i>Square Duct</i> .....	29
3.2.2	<i>Honey Comb, Screen, dan Nozzle</i> .....	30
3.2.3	<i>Centrifugal Fan</i> .....	30
3.2.4	Alat Ukur.....	30
3.2.5	<i>Inlet Disturbance Body</i> .....	32
3.3	Analisis Dimensi Parameter – Parameter .....	33
3.3.1	Analisis Grup Tak Berdimensi untuk <i>Pressure Drop</i> pada <i>Square Duct</i> .....	34
3.3.2	Analisis Grup Tak Berdimensi untuk Kecepatan pada <i>Square Duct</i> .....	35
3.4	Langkah – Langkah Validasi .....	37
3.4.1	Validasi Tekanan Dinamis .....	37
3.4.2	Validasi Tekanan Statis.....	38
3.5	Prosedur Pengambilan Data.....	40
3.5.1	Pengambilan Data Kuantitatif .....	40
3.5.2	Pengolahan Data Kuantitatif.....	41
3.6	Urutan Langkah Penelitian .....	46
3.7	Gambar Peralatan Penelitian.....	47
3.8	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	49

## **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Square Duct</i> dengan Bilangan Reynolds $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 3,15 \times 10^5$ .....	51
4.2	<i>Loss Coefficient Elbow 90°</i> pada <i>Square Duct</i> dengan Bilangan Reynolds $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 3,15 \times 10^5$ .....	53
4.3	<i>Pressure Coefficient Elbow 90°</i> pada <i>Square Duct</i> dengan bilangan Reynolds $3,97 \times 10^4$ , $8,74 \times 10^4$ , dan $3,15 \times 10^5$ .....	54
4.4	Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Sisi <i>Upstream Duct</i> dengan Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$ .....	58
4.5	Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Sisi <i>Downstream Duct</i> dengan Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$ .....	59
4.5.1	Profil Kecepatan Bidang Horizontal Sisi <i>Downstream</i> <i>Duct</i> dengan bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$ .....	60



4.5.2 Profil Kecepatan Bidang Vertikal Sisi <i>Downstream Duct</i> dengan bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$ .....	64
4.6 Intensitas Turbulensi Bidang Horizontal Sisi Setelah <i>Outlet Elbow 90^\circ</i> dengan Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$ .....	66
4.7 Perbandingan Hasil Profil Kecepatan dan Intensitas Turbulensi Antara Eksperimen dan Penelitian Rup & Sarna.....	68

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	73

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	75
-----------------------------	----

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition).....	7
Gambar 2.2	Ilustrasi aliran <i>inviscid</i> dan <i>viscous</i> (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition) .....	8
Gambar 2.3	Lapis batas dengan <i>advers gradient</i> (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition) .....	9
Gambar 2.4	Gerakan partikel fluida pada <i>streamline</i> (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition) .....	12
Gambar 2.5	Profil aliran pada entrance area (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition) .....	13
Gambar 2.6	Separasi aliran pada <i>inner wall elbow 90°</i> (Nakayama & Boucher, 1998) .....	14
Gambar 2.7	Ilustrasi aliran sekunder pada <i>elbow 90°</i> (Miller, 1990).....	15
Gambar 2.8	<i>Pitot tube</i> pengukur tekanan statis dan stagnasi (Fox dan Mc. Donald, 8 <sup>th</sup> edition).....	18
Gambar 2.9	a) Pengambilan data pada <i>test section</i> b) Mesh pada volume (Rup dan Sarna: 2011) .....	21
Gambar 2.10	a) Perbandingan profil kecepatan antara eksperimen dan simulasi pada $\varphi = 30^\circ$ ( $z/D_h = 0,0$ ) b) Perbandingan profil kecepatan antara eksperimen dan simulasi dengan $x/D_h = 1,0$ ( $z/D_h = 0,0$ ) (Rup dan Sarna: 2011) .....	21
Gambar 2.11	Profil <i>pressure coefficient</i> pada <i>inner</i> dan <i>outer wall</i> (Rup dan Sarna: 2011) .....	22
Gambar 2.12	Skema susunan peralatan penelitian ((H. Choi dan J. Lee, 2010) .....	23
Gambar 2.13	Profil intensitas turbulensi pada jarak 100, 150, dan 200 mm pada $AR = 1$ (H. Choi dan J. Lee, 2010).....	24
Gambar 2.14	Skema geometri pipa dan permodelan komputasi (Dutta dan Nandi, 2015) .....	24

Gambar 2.15	Profil kecepatan dengan variasi <i>curvature ratio</i> (Rc) sebesar 1D sampai 5D dengan bilangan Reynolds sebesar $10^5$ . (Dutta dan Nandi, 2015)	25
Gambar 2.16	Skema percobaan dengan peletakkan silinder (Lei, dkk, 1998)	26
Gambar 2.17	<i>Vorticity</i> sesaat sekitar silinder pada variasi (a) G/D 0,5 (b) G/D 0,1 (Lei, dkk, 1998)	26
Gambar 3.1	Sketsa <i>test section</i> (pandangan atas)	28
Gambar 3.2	Susunan peralatan penelitian	29
Gambar 3.3	Skema pemasangan <i>wall pressure tap</i>	31
Gambar 3.4	<i>Inlet disturbance body</i>	33
Gambar 3.5	Susunan alat ukur validasi tekanan dinamis	38
Gambar 3.6	Grafik hasil validasi tekanan dinamis transduser 1" WC	38
Gambar 3.7	Susunan alat ukur validasi tekanan statis	39
Gambar 3.8	Skema dan hasil validasi tekanan statis transduser 3" WC	40
Gambar 3.9	Lokasi perhitungan untuk <i>pressure drop</i>	44
Gambar 4.1	<i>Pressure drop square duct</i> dengan variasi peletakkan <i>inlet disturbance body</i> dan $Re_{Dh}$ $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$	51
Gambar 4.2	<i>Loss coefficient elbow 90°</i> dengan variasi peletakkan <i>inlet disturbance body</i> dan $Re_{Dh}$ $3,97 \times 10^4$ , $8,74 \times 10^4$ , dan $1,35 \times 10^5$	53
Gambar 4.3	Distribusi <i>pressure coefficient</i> inner dan outer <i>elbow 90°</i> dengan variasi gap <i>inlet disturbance body</i> pada $Re_{Dh}$ $8,74 \times 10^4$	55
Gambar 4.4	Distribusi <i>pressure coefficient</i> inner dan outer <i>elbow 90°</i> dengan variasi $Re_{Dh}$ dan a) tanpa <i>inlet disturbance body</i> b) gap 0,2d c) gap 0,4d	57
Gambar 4.5	Profil kecepatan upstream bidang (a) horizontal (b) vertikal	59
Gambar 4.6	Profil kecepatan bidang horizontal pada a) $x/Dh=0$ b) $x/Dh=1$ c) $x/Dh=2$ d) $x/Dh=3$ e)	

	x/Dh=4 f) x/Dh=5 g) x/Dh=8 h) x/Dh=11 i) x/Dh=12 j) x/Dh=13 .....	62
Gambar 4.7	Profil kecepatan bidang vertikal pada a) x/Dh=0 b) x/Dh=1 c) x/Dh=2 d) x/Dh=3 e) x/Dh=4 f) x/Dh=5 g) x/Dh=8 h) x/Dh=11 i) x/Dh=12 j) x/Dh=13 .....	65
Gambar 4.8	Intensitas turbulensi bidang horizontal setelah <i>outlet elbow 90°</i> .....	67
Gambar 4.9	Perbandingan profil kecepatan bidang horizontal antara penelitian Rup & Sarna dan hasil eksperimen pada x/Dh=1 dengan $Re_{Dh}$ $8,74 \times 10^4$ .....	68
Gambar 4.10	Perbandingan pressure coefficient antara penelitian Rup & Sarna dan hasil eksperimen pada x/Dh=1 dengan $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ .....	70

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Urutan langkah penelitian.....	46
Tabel 3.2	Peralatan penelitian.....	47
Tabel 3.3	Jadwal pelaksanaan penelitian .....	49

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, saluran udara sangat berperan penting baik sebagai pendingin ruangan maupun ventilasi. Saluran udara mengalirkan udara dari dalam ruangan ke lingkungan luar maupun sebaliknya, agar terjadi sirkulasi untuk menjaga kelembapan udara dan menghilangkan debu. Untuk mensirkulasikan udara dibutuhkan *centrifugal fan* sebagai komponen penggerakannya. Energi untuk menggerakkan *centrifugal fan* merupakan salah satu penyumbang kebutuhan energi terbesar dalam suatu ruangan. Saluran udara juga pasti memiliki kerugian daya, sehingga diperlukan metode untuk menghemat energi untuk mengalirkan udara agar biaya pengeluaran pembelian daya listrik dapat diminimalkan.

Udara mengalir melalui instalasi saluran udara yang terdiri dari bagian lurus dan *fitting*. Penampang dari saluran udara umumnya ada dua, yaitu lingkaran (*pipe*) dan bujur sangkar (*square duct*). Macam-macam *fitting* pada saluran udara, yaitu *elbow 90°*, katup (*valve*), *reducer*, dan lain-lain. *Elbow 90°* berfungsi sebagai pembelok saluran udara agar dapat diarahkan sesuai kebutuhan. Katup berfungsi sebagai pengatur debit masuknya udara. *Reducer* berfungsi sebagai penambah kecepatan aliran dalam saluran udara. Daerah *fitting* pada saluran udara dapat meningkatkan *pressure drop* karena terjadi separasi, gesekan, atau aliran sekunder. Separasi merupakan fenomena yang terjadi akibat aliran yang tidak mampu melawan *wall shear stress* dan *advers pressure gradient* pada sisi *inner elbow 90°*. Gesekan merupakan kerugian yang terjadi akibat gesekan antara udara dan permukaan dinding yang dilewatinya. Sedangkan aliran sekunder merupakan fenomena aliran tangensial yang terjadi pada sisi *inner* dan *outer wall* karena pengaruh kelengkungan *elbow 90°*. Peningkatan *pressure drop* dapat meningkatkan jumlah konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan udara di dalam saluran. Sehingga

dalam pembuatan konstruksi saluran udara harus optimal agar tidak terjadi kerugian energi yang besar.

Separasi dan aliran sekunder terjadi di dalam *elbow 90°*. Pada sisi *inner wall* terjadi separasi karena aliran utama tidak mampu melawan *wall shear stress* dan *advers pressure gradient*, sehingga terbentuk *vortex* yang bergerak berbalik arah dari aliran utama atau biasa disebut dengan *backflow* di sisi *inner wall*. Pada sisi *inner* dan *outer wall* juga terjadi aliran sekunder karena pengaruh radius kelengkungan dari *elbow 90°*. Terjadi perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer wall*. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan sumbatan aliran (*blockage flow*).

Usaha untuk mengurangi *pressure drop* dengan menambahkan bodi pengganggu berupa *inlet disturbance body* di depan *inlet elbow 90°* dengan memvariasikan gap agar mendapatkan hasil yang paling efektif dalam peletakkannya. Tujuannya untuk menghasilkan *shear layer* yang mempunyai intensitas turbulensi yang tinggi sehingga lebih mampu melawan *advers pressure gradient* yang terjadi akibat separasi aliran. **Rup dan Sarna (2011)** melakukan penelitian dengan eksperimen dan simulasi untuk mengetahui profil kecepatan pada *square duct* yang dipasang *elbow 90°*. Hasil penelitian berupa perbandingan yang hampir sama antara eksperimen dan simulasi terjadi pada  $\phi$  sebesar  $30^\circ$ . Kecepatan aliran pada *inner wall* lebih besar karena radiusnya yang lebih kecil daripada *outer wall*. Sedangkan perbedaan yang signifikan dapat dilihat pada perbandingan eksperimen dan simulasi setelah melewati *outlet elbow 90°* sejauh 1Dh. Terjadi perlambatan kecepatan aliran pada sisi *inner wall* karena aliran yang terseparasi saat melewati corner *elbow 90°*. Kemudian pada *outer wall*, terjadi kenaikan nilai  $C_p$  pada  $\phi = 80^\circ$  mengindikasikan terjadi separasi aliran. Hal tersebut menyebabkan terjadinya *pressure drop* sehingga merugikan aliran.

**Choi dan Lee (2010)** melakukan penelitian dengan eksperimen untuk mengetahui pengaruh dari sebuah silinder yang diletakkan dekat dengan permukaan plat datar. Penelitian ini memvariasikan rasio gap (G/B) antara silinder dan permukaan plat

datar. Silinder yang digunakan berupa *eclips* dan sirkular. Hasil yang didapatkan dari penelitian membuktikan bahwa silinder dapat meningkatkan intensitas turbulensi. Kenaikan terbesar terjadi pada penambahan silinder sirkular. Variasi gap juga berpengaruh dalam penentuan hasil, intensitas turbulensi dengan gap 1B lebih besar daripada gap 0,5B. Kemudian jarak yang digunakan yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam, yaitu 100 mm, 150 mm, dan 200 mm. Dari ketiga jarak tersebut juga membuktikan bahwa penambahan silinder dapat meningkatkan intensitas turbulensi.

**Dutta dan Nandi (2015)** melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi bilangan Reynolds dan rasio kelengkungan radius *elbow 90°* terhadap profil kecepatan aliran. Variasi dari *curvature ratio* (Rc) sebesar 1D sampai 5D, R merupakan radius kelengkungan dan D merupakan diameter pipa. Hasil dari penelitian ini didapatkan profil kecepatan terbaik terjadi pada variasi Rc sebesar 5D dan bilangan Reynolds sebesar  $10^5$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas turbulensinya semakin besar sehingga dapat menunda terjadinya separasi aliran dan lebih mampu untuk melawan *advers pressure gradient*.

**Eduard Wahyu Ramadhan (2016)** melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi bukaan damper dan bilangan Reynolds terhadap profil aliran. Selain profil aliran, keluaran yang didapatkan berupa *loss coefficient elbow 90°*, *loss coefficient damper*, dan *pressure drop*. Penelitian menggunakan saluran udara berpenampang persegi (*square duct*) dengan *elbow 90°*. Hasil yang didapatkan dari penelitian, yaitu pemulihan aliran terjadi lebih cepat pada sudut bukaan damper sebesar 30°. Terjadi pula kenaikan *pressure drop* pada setiap variasi damper, kenaikan terkecil terdapat pada saluran tanpa dipasang damper. *Loss coefficient elbow 90°* terendah pada bilangan Reynolds sebesar  $9,46 \times 10^4$ . *Loss coefficient damper* terendah pada sudut bukaan damper sebesar 0° dan bilangan Reynolds sebesar  $3,94 \times 10^4$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Penambahan *elbow 90°* pada saluran meningkatkan *pressure drop*, hal tersebut terjadi karena adanya separasi aliran dan aliran sekunder. Saat aliran melewati kelengkungan sisi *inner elbow 90°* dan tidak mampu melawan *wall shear stress* dan *advers pressure gradient*, maka akan terjadi separasi aliran. Peningkatan radius kelengkungan pada *outer wall* berpengaruh terhadap peningkatan tekanan. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan *blockage flow*. Separasi dan aliran sekunder menyebabkan peningkatan *pressure drop*.

Untuk mengurangi *pressure drop*, maka ditambahkan bodi pengganggu. Bodi pengganggu berupa *inlet disturbance body* (IDB). Peletakkan *inlet disturbance body* pada jarak ( $l/Dh$ ) sebesar 0,1 di depan *inlet elbow 90°* yang mempunyai rasio kelengkungan ( $R/Dh$ ) sebesar 1,5 dengan memvariasikan gap ( $g/d$ ) sebesar 0,1 sampai 0,5. Variasi bilangan Reynolds yang digunakan, yaitu  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ . Penambahan IDB diharapkan menghasilkan *shear layer* yang mempunyai intensitas turbulensi yang lebih tinggi sehingga diharapkan mampu melawan *wall shear stress* dan *advers pressure gradient* yang berakibat penurunan *pressure drop*.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan agar tidak melebar dari tujuan awal dan untuk memudahkan perhitungan. Adapun batasan masalah sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan adalah udara yang memiliki sifat aliran *incompressible*, *viscous*, dan *steady*.
2. Temperatur fluida pada saluran udara diasumsikan konstan.
3. Perpindahan panas yang terjadi akibat gesekan fluida dan dinding diabaikan.
4. Kekasaran pada permukaan dinding diabaikan.

5. Aliran yang mengalir di dalam saluran udara merupakan aliran turbulen.
6. Penelitian menggunakan bilangan Reynolds sebesar  $8,74 \times 10^4$  untuk mengukur intensitas turbulensi dan kecepatan aliran, serta menggunakan variasi bilangan Reynolds  $3,97 \times 10^4 \leq Re_{dh} \leq 1,35 \times 10^5$  untuk mengukur *pressure drop*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh interaksi aliran antara *inlet disturbance body* (IDB) dengan kelengkungan *elbow 90°* berpenampang bujur sangkar (*square duct*) pada jarak ( $l/D_h$ ) sebesar 0,1 di depan *elbow 90°* yang divariasikan gap ( $g/d$ ) sebesar 0,1 sampai 0,5. Variasi bilangan Reynolds yang digunakan sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ . Sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui *pressure drop* antara *upstream* dan *downstream square duct*.
2. Mengetahui *loss coefficient minor* pada *elbow 90°* tanpa IDB dan variasi  $g/d=0,1$  sampai 0,5.
3. Mengetahui *pressure coefficient* pada *elbow 90°* dengan bilangan Reynolds sebesar  $3,97 \times 10^4$ ,  $8,76 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ .
4. Mengetahui profil kecepatan *downstream square duct* pada posisi vertikal dan horizontal.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* yang terjadi pada *upstream duct*, *elbow 90°* dan *downstream duct* dengan tanpa *inlet disturbance body* (IDB).
2. Memberikan penjelasan tentang distribusi *loss coefficient minor* dan *pressure coefficient* pada *elbow 90°* dengan tanpa

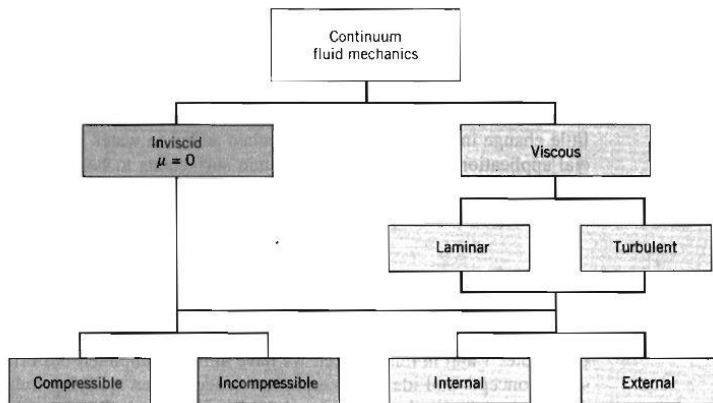
IDB dan variasi gap pada bilangan Reynolds sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ .

3. Memberikan informasi tentang fenomena perubahan distribusi profil kecepatan aliran pada sisi *downstream duct* pada posisi vertikal dan horizontal.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jenis Aliran Fluida

Dalam pengamatan suatu fluida dapat diasumsikan dengan pengamatan pada suatu titik dan apabila diperbesar akan tampak seperti kubus yang didalamnya berisi molekul-molekul gas. Maka dari itu diasumsikan bahwa fluida sebagai continuum, yaitu merupakan bagian yang paling terkecil. Gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya. Aliran *inviscid* merupakan aliran yang tidak dipengaruhi oleh viskositas fluida. Sedangkan aliran *viscous* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas fluida karena pengaruh gesekan aliran terhadap dinding.



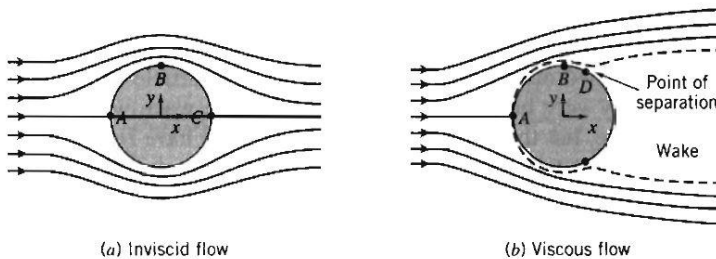
**Gambar 2.1** Klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Aliran laminar merupakan aliran yang bergerak secara halus dan beraturan pada kecepatan yang relatif rendah. Sedangkan aliran turbulen merupakan aliran yang bergerak tidak beraturan atau acak-acakan pada kecepatan yang relatif lebih tinggi. Aliran inkompresibel merupakan aliran yang variasi densitas fluidanya diabaikan karena memiliki nilai kurang dari 5%. Sedangkan aliran

kompresibel merupakan aliran yang mempunyai variasi densitas lebih dari 5%. Aliran internal merupakan aliran yang mengalir dan dibatasi oleh dinding solid. Sedangkan aliran eksternal merupakan aliran yang mengalir di permukaan tanpa dibatasi oleh suatu dinding.

## 2.2 Aliran *Viscous*

Aliran *viscous* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas fluidanya. Viskositas fluida mempengaruhi aliran udara karena fluida mengalir akan bergesekan dengan dinding. Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi suatu aliran fluida yang mengalir melewati permukaan bola. Poin A dan C menunjukkan titik stagnasi. Pada poin A dan C, kecepatan aliran fluida sebesar nol sehingga tekanan terbesar terdapat pada titik tersebut. Sedangkan pada poin B merupakan titik dengan kecepatan paling besar sehingga tekanan terkecil berada pada titik tersebut. Pada titik B dan C terjadi perbedaan tekanan yang menimbulkan terjadinya gerakan aliran melawan arah aliran utama atau biasanya disebut dengan *advers pressure gradient*.

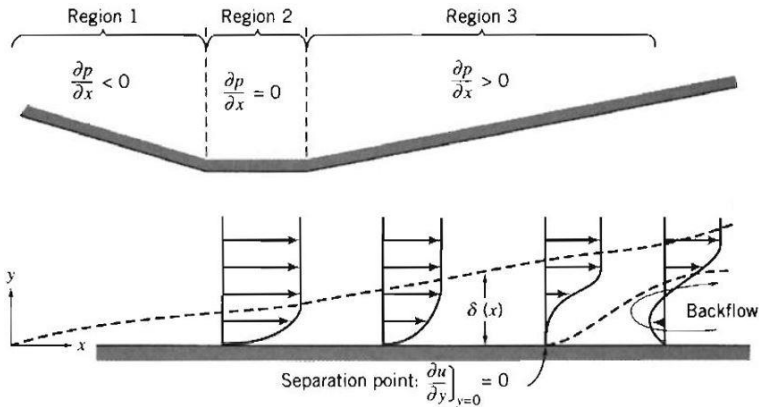


**Gambar 2.2** Ilustrasi aliran *inviscid* dan *viscous* (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Aliran *inviscid* digambarkan suatu aliran fluida tanpa dipengaruhi gesekan terhadap dinding permukaan bola sehingga profil kecepatan aliran akan menyatu kembali setelah melewati titik B. Sedangkan pada aliran *viscous* terdapat titik separasi pada



titik D, ketika aliran utama dilawan oleh *advers pressure gradient*, maka kecenderungan aliran akan terseparasi karena momentum aliran utama tidak mampu melawannya sehingga memicu terjadinya *vortex*. *Vortex* merupakan suatu kerugian karena berkurangnya aliran yang mengalir karena adanya *pressure drop*.



**Gambar 2.3** Lapis batas dengan *advers gradient* (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa adanya perubahan luasan aliran dapat mempengaruhi profil kecepatan aliran. Pada  $\frac{dP}{dx} < 0$  dan  $\frac{dP}{dx} = 0$  (*advers pressure gradient*) tidak terjadi separasi aliran, tetapi pada  $\frac{dP}{dx} > 0$  terjadi separasi aliran. *Advers pressure gradient* selalu diawali dengan terjadinya separasi aliran atau terbentuknya *wake*. Pada region 1 terjadi percepatan aliran karena bidang alir menyerupai *nozzle* (*favourable pressure gradient*), pada region 2 terjadi kecepatan konstan (*zero pressure gradient*), dan pada region 3 terjadi perlambatan aliran karena bidang alir menyerupai *diffuser* (*advers pressure gradient*). Adanya separasi aliran menyebabkan *advers pressure gradient*, tetapi adanya *advers pressure gradient* tidak menjamin terjadinya separasi aliran. Separasi aliran terjadi saat momentum aliran dekat dinding permukaan berkurang sampai

nol yang merupakan kombinasi dari tekanan dan gaya *viscous*. Momentum aliran turbulen lebih besar dibandingkan aliran laminar. Sehingga aliran turbulen lebih tahan terhadap separasi pada *advers pressure gradient*.

### 2.3 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran laminar merupakan aliran yang bergerak secara halus dan beraturan pada kecepatan yang relatif rendah, sedangkan aliran turbulen merupakan aliran yang bergerak tidak beraturan pada kecepatan yang relatif tinggi. Untuk menentukan jenis aliran dapat menggunakan bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat menentukan jenis aliran laminar atau turbulen berdasarkan kecepatan aliran pada suatu penampang dibandingkan dengan viskositas fluida tersebut. Aliran dalam pipa dapat dikatakan laminar apabila bernilai kurang dari 2300, dikatakan transisi apabila bernilai 2300, dan dikatakan turbulen apabila bernilai lebih dari 2300. Bilangan Reynolds dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$Re = \rho \frac{VD}{\mu} \quad (2.1)$$

Dimana:

Re	: Bilangan Reynolds
$\rho$	: Massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
V	: Kecepatan aliran fluida (m/s)
D	: Diameter pipa (m)
$\mu$	: Viskositas fluida (kg/ms)

Saluran udara yang mempunyai penampang non circular menggunakan diameter hidrolik (Dh). Diameter hidrolik dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$Dh = \frac{4A}{P} \quad (2.2)$$

Dimana:

Dh	: Diameter hidrolik (m)
A	: Luas penampang (m <sup>2</sup> )

P : Keliling penampang (m)

## 2.4 Aliran Inkompresibel

Aliran inkompresibel merupakan aliran yang variasi densitasnya diabaikan. Untuk menentukan jenis aliran dapat menggunakan *Mach number*. *Mach number* merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat menentukan jenis aliran inkompresibel atau kompresibel berdasarkan kecepatan aliran dibandingkan dengan kecepatan suara. Kecepatan suara pada suhu 21°C bernilai 344 m/s. Jika nilai dari *Mach number* kurang dari 0,3, maka aliran tersebut termasuk aliran inkompresibel. Apabila lebih dari 0,3, maka aliran tersebut termasuk aliran kompresibel. Namun terdapat suatu kondisi udara termasuk batas aliran inkompresibel yakni pada kecepatan 100 m/s nilai *Mach number* sebesar 0,3

## 2.5 Persamaan Euler Dalam Koordinat *Streamline*

Untuk menggambarkan suatu aliran fluida dalam kondisi stabil sepanjang *streamwise* (s) dengan arah koordinat sumbu y dan z digunakan persamaan Euler dapat dilihat seperti pada gambar 2.4. Notasi R merupakan radius dari kelengkungan *streamline*. Notasi n merupakan arah tangensial aliran. Persamaan Euler dengan kondisi aliran *steady* pada *streamline* dapat dinotasikan dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{\bar{V}^2}{R} \quad (2.5)$$

Pada kondisi *steady* di permukaan horizontal, persamaan Euler normalnya pada *streamline* akan menjadi persamaan 2.6 sebagai berikut:

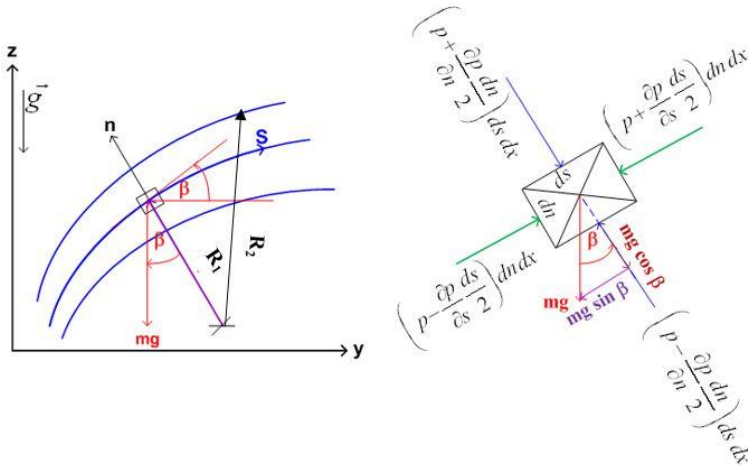
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} = \frac{\bar{V}^2}{R} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 dapat diketahui bahwa peningkatan tekanan terjadi ke arah keluar dari pusat kelengkungan pada *streamline*. Di

daerah lurus dengan radius *streamline* tidak ada variasi dari tekanan normal. Apabila pada kondisi aliran di dalam *elbow*  $90^\circ$ , maka sumbu  $n$  merupakan sumbu yang searah dengan besar kelengkungan radius *elbow*  $90^\circ$ . Pernyataan tersebut dapat dibuktikan pada persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\int_1^2 dP = \int_2^2 \rho \frac{\bar{V}^2}{R} dr \quad (2.7)$$

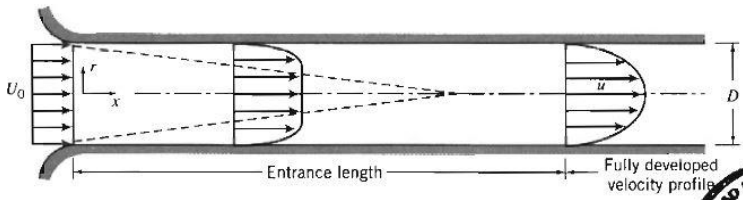
$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho \bar{V}^2 \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (2.8)$$



**Gambar 2.4** Gerakan partikel fluida pada *streamline* (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Besarnya *pressure drop* ( $\Delta P$ ) berpengaruh terhadap kelengkungan radius *elbow*  $90^\circ$ . Apabila digunakan kelengkungan radius *outer wall* yang semakin besar, maka  $\Delta P$  yang dihasilkan akan semakin besar pula.

## 2.6 Aliran Di Dalam Saluran Udara



**Gambar 2.5** Profil aliran pada *entrance area* (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Aliran yang mengalir di dalam saluran udara merupakan aliran internal karena dibatasi oleh permukaan solid sehingga hanya mengalir tanpa melewati dinding. Aliran yang masuk ke dalam saluran merupakan aliran *uniform* dengan notasi kecepatan  $U_0$ . Setelah memasuki saluran udara akan timbul gesekan antara dinding dan fluida karena aliran memiliki sifat aliran *viscous*. Profil kecepatan suatu aliran fluida ditentukan oleh *boundary layer*. *Boundary layer* mengindikasikan terjadinya gesekan fluida terhadap dinding permukaan. Perbedaan kecepatan pada titik tengah yang memiliki nilai maksimal, sedangkan tepat pada permukaan dinding kecepatan sesaat diam sehingga akan terjadi bentuk aliran fluida yang berkembang penuh atau disebut juga *fully develop*. Jarak saat fluida memasuki saluran hingga profil aliran berkembang penuh disebut juga *entrance length*. Gambar 2.5 menjelaskan proses aliran *uniform* akan menjadi *fully developed* ketika melewati suatu saluran. Kecepatan aliran rata-rata ( $\bar{V}$ ) diasumsikan bernilai sama dengan  $U_0$ . Sehingga *entrance length* pada dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.9 sebagai berikut:

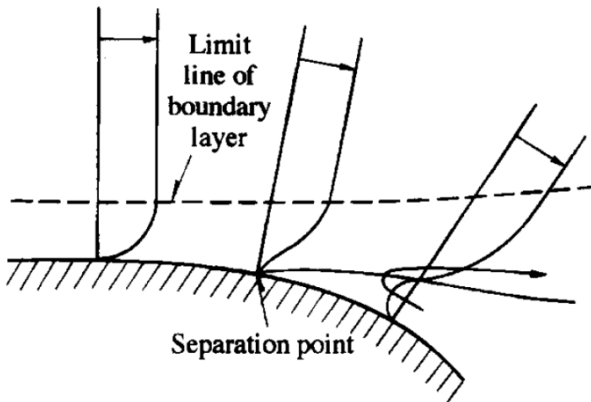
$$\frac{L}{D} \cong 0,06 \frac{\rho \cdot \bar{V} \cdot D}{\mu} \quad (2.9)$$

Pada aliran laminar bilangan Reynold bernilai 2300 sehingga didapatkan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$L \approx 0,06Re \cdot D \approx (0,06)(2300)D \approx 138D \quad (2.10)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen, *entrance length* lebih pendek karena *boundary layer* terbentuk lebih cepat daripada aliran laminar. Panjangnya menjadi sekitar 25 sampai 40 kali diameter pipa tergantung pada kecepatan aliran fluida.

### 2.6.1 Proses Terjadinya Separasi Aliran Pada *Elbow 90°*



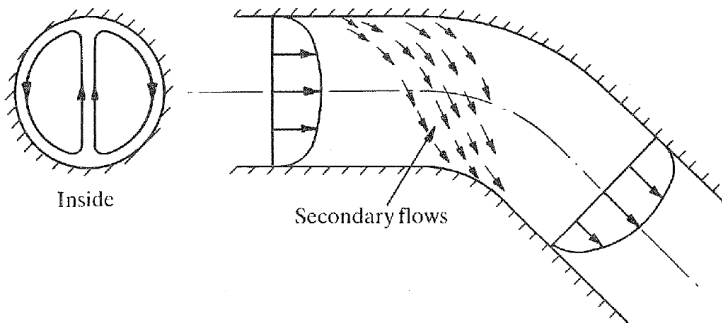
**Gambar 2.6** Separasi aliran pada *inner wall elbow 90°*  
(Nakayama & Boucher, 1998)

Gambar 2.6 menunjukkan profil kecepatan aliran ketika melewati suatu *inner wall elbow 90°*. Proses separasi berawal dari aliran yang bergesekan dengan dinding, kemudian setelah melewati elokan pada sisi *inner wall* terjadi perbedaan distribusi tekanan (*advers pressure gradient*). Adanya *advers pressure gradient* menyebabkan terjadinya separasi aliran. Setelah aliran terseparasi pada sisi *inner wall* terjadi penurunan momentum aliran, hal tersebut menunjukkan timbulnya *vortex* atau *backflow*. Separasi aliran yang terjadi dapat berpengaruh sampai aliran meninggalkan *elbow 90°*. Efek dari *backflow* akan semakin

membesar menyebabkan terjadinya penyempitan bidang alir aliran udara. Hal tersebut menimbulkan peningkatan *pressure drop*.

### 2.6.2 Proses Terjadinya Aliran Sekuder Pada *Elbow 90°*

Pada gambar 2.7 menggambarkan aliran sekunder didalam pipa dengan *elbow 90°*. Adanya perbedaan distribusi tekanan pada sisi *inner* dan *outer wall* menyebabkan aliran bergerak tangensial melawan arah aliran utama. Perbedaan tekanan tersebut ditimbulkan karena radius kelengkungan dinding sisi *outer wall* lebih besar daripada *inner wall*. Adanya perbedaan tekanan yang semakin besar, maka menyebabkan peningkatan *pressure drop*. Peningkatan *pressure drop* diindikasikan terjadinya fenomena penyumbatan aliran (*blockage flow*) karena aliran mengalir tangensial dari sisi *outer wall* ke *inner wall* sehingga luasan daerah yang dapat dialiri oleh aliran utama menjadi semakin kecil.



**Gambar 2.7** Ilustrasi aliran sekunder pada *elbow 90°* (Miller, 1990)

## 2.7 Head Loss

*Head loss* merupakan fenomena kerugian yang terjadi pada sebuah saluran udara. Kerugian tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, baik karena jenis fluida maupun bentuk instalasi saluran udara yang digunakan. Jenis fluida mempengaruhi karena fluida

memiliki variasi viskositas, viskositas sangat berpengaruh pada kecepatan aliran. Semakin besar viskositas dari fluida tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar pula gesekan yang terjadi antara fluida dengan permukaan. *Head loss* menyebabkan penurunan tingkat efisiensi pada saluran udara. Selain karena jenis fluida, *head loss* juga dapat terjadi karena instalasi saluran udara dengan adanya *fitting*. *Fitting* menyebabkan aliran akan mengalami separasi yang akan merubah bentuk aliran menjadi lebih turbulen. Kondisi tersebut menyebabkan energi untuk mengalirkan aliran udara menjadi semakin besar. Perhitungan *head loss* dapat ditentukan dengan persamaan kesetimbangan energi, pada persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + \sum H_{LT} \quad (2.11)$$

Dimana :

P	: Tekanan statis (Pa)
$\bar{V}$	: Kecepatan aliran (m/s)
z	: Ketinggian fluida (m)
$\rho$	: Massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
g	: Percepatan gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
$H_{LT}$	: <i>Head loss total</i> (m)

Jika diasumsikan nilai  $\alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g}$  pada ketinggian yang sama dan tidak ada perubahan area penampang dari saluran, maka *head loss* dapat dituliskan menjadi persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$\sum H_L = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.12)$$

*Head loss* terdiri dari dua macam, yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Head loss mayor* merupakan kerugian yang terjadi pada *straight channel* karena aliran *fully developed*. *Fully developed* menyebabkan perbedaan kecepatan antara titik tengah yang memiliki kecepatan paling besar dibandingkan dengan titik pada dinding yang memiliki kecepatan diam seperti yang



ditunjukkan pada gambar 2.4. *Head loss mayor* pada aliran laminar dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\Delta p = h_l = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{D} = \left( \frac{64}{Re} \right) \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.13)$$

Dimana  $h_l$  merupakan *head loss mayor* dan didapatkan nilai dari koefisien gesek sebesar

$$f = \frac{64}{Re}$$

*Head loss mayor* pada aliran turbulen dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.14)$$

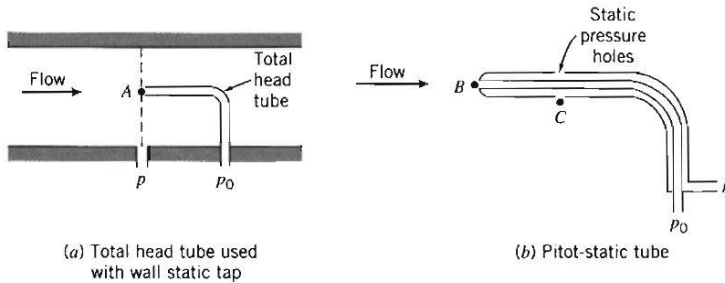
Dimana koefisien geseknya bergantung pada bilangan Reynolds dan kekasaran permukaan dinding  $\left( \frac{l}{D} \right)$ . Sedangkan *head loss minor* merupakan kerugian yang terjadi pada *fitting*, *entrance*, *nozzle*, *diffuser*, dan lain-lain. *Head loss minor* ( $h_{lm}$ ) dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$h_{lm} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.15)$$

## 2.8 Tekanan

Tekanan terdiri tiga macam, yaitu tekanan statis, stagnasi, dan dinamis. Tekanan statis merupakan tekanan fluida yang diukur dari fluida dan alat pengukur bergerak bersamaan. Namun kondisi tersebut sulit diwujudkan sehingga diukur dengan menggunakan lubang kecil yang tegak lurus dengan dinding aliran. Tidak adanya variasi tekanan pada arah penampang tegak lurus yang mendasari pengukuran dilakukan dengan metode tersebut. Pengukuran

tekanan statis seperti pada gambar 2.8 (b) pada *pitot static tube* dengan lubang C yang tegak lurus dengan arah aliran.



**Gambar 2.8** *Pitot tube* pengukur tekanan statis dan stagnasi (Fox dan Mc. Donald, 8<sup>th</sup> edition)

Tekanan stagnasi merupakan tekanan fluida yang diukur dari fluida yang diperlambat sampai memiliki kecepatan diam pada kondisi tanpa gesekan. Pengukuran tekanan stagnasi seperti pada gambar 2.8 (b) pada *pitot static tube* dengan lubang B. Pada lubang B lurus dengan arah aliran sehingga aliran tak mampu mampat dan dapat ditentukan dengan persamaan Bernoulli pada kondisi tanpa perubahan ketinggian. Tekanan dinamis merupakan tekanan fluida akibat kecepatan aliran, yaitu selisih antara tekanan statis dan stagnasi. Untuk menghitung tekanan yang terjadi dapat menggunakan persamaan Bernoulli pada persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan} \quad (2.16)$$

Maka dapat disubstitusikan tekanan statis ( $p$ ) dengan kecepatan ( $V$ ) dan tekanan stagnasi ( $p_0$ ) dengan kecepatan ( $V_0$ ) dalam persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\frac{p_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (2.17)$$

Karena tekanan stagnasi memiliki kecepatan diam, maka didapatkan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$p_o = p + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.18)$$

Dimana  $\frac{1}{2} \rho V^2$  merupakan tekanan dinamis.

## 2.9 Pressure Coefficient

*Pressure coefficient* merupakan bilangan yang tak berdimensi menunjukkan selisih antara tekanan lokal dan tekanan *freestream*. *Pressure coefficient* dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$C_p = \frac{p_c - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (2.19)$$

Dimana:  $C_p$  : *Pressure coefficient*

$p_c$  : Tekanan statik pada kontur ( $\text{kg/ms}^2$ )

$p_\infty$  : Tekanan statik pada *freestream* ( $\text{kg/ms}^2$ )

$\frac{1}{2} \rho U^2$  : Tekanan dinamis aliran bebas ( $\text{kg/ms}^2$ )

*Pressure coefficient* digunakan untuk mencari *loss coefficient* dari *fitting* yang digunakan. Untuk mengetahui *loss coefficient* (K) dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.20 sebagai berikut:

$$C_p = K \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.20)$$

## 2.10 Intensitas Turbulensi

Intensitas turbulensi merupakan bilangan untuk menentukan fluktuasi dari turbulensi dengan membandingkan *root mean square* dari fluktuasi kecepatan ( $u'$ ) terhadap kecepatan rata-rata ( $u_{avg}$ ). Intensitas turbulensi dinyatakan dalam bentuk prosentase. Intensitas turbulensi dapat dinotasikan pada persamaan 2.21 sebagai berikut:

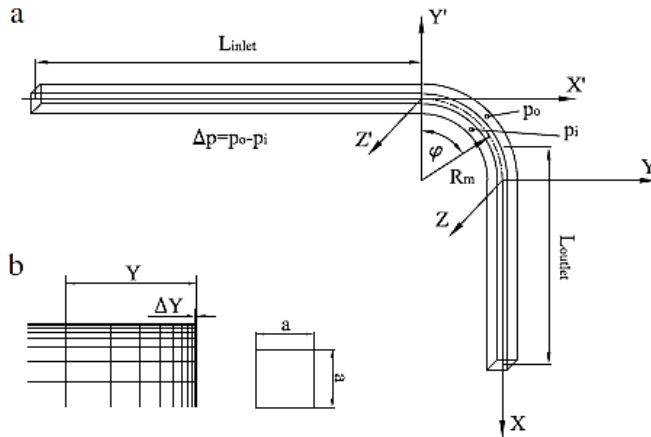
$$IT = \frac{u'}{u_{avg}} \times 100\% \quad (2.21)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n - 1}}$$

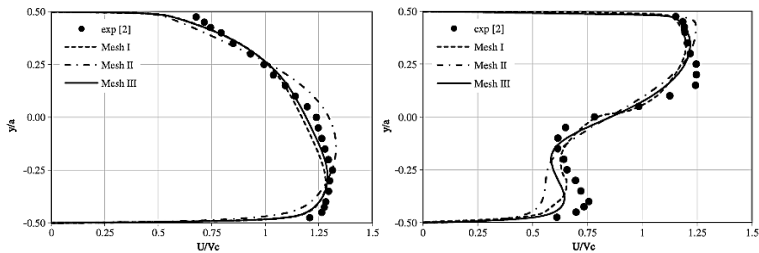
Dimana:  $IT$  : Intensitas turbulensi  
 $U_n$  : Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal) (m/s)  
 $\bar{U}$  : Kecepatan rata-rata (m/s)  
 $u'$  : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

## 2.11 Penelitian Terdahulu

**Rup dan Sarna (2011)** melakukan penelitian yang berjudul *analysis of turbulent flow through a square-sectioned with installed 90-degree elbow 90°*. Penelitian dilakukan dengan eksperimen dan simulasi menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*). Gambar 2.9 menunjukkan instalasi *square duct* dengan *elbow 90°*. Luas penampang *square duct* (axa) sebesar 80x80 mm dan  $L_{inlet} = L_{outlet} = 20D_h = 1600$  mm. *Elbow 90°* memiliki radius sebesar  $2D_h$  atau sebesar 160 mm. Bilangan Reynolds yang dipakai sebesar 40.000. Variasi kerapatan *meshing* dalam penelitian ini, yaitu jumlah *mesh*  $Vk^{(I)}$  sebesar 553052,  $Vk^{(II)}$  sebesar 1766079, dan  $Vk^{(III)}$  sebesar 1034775 dengan jumlah *node*  $N^{(I)}$  sebesar 584064,  $N^{(II)}$  sebesar 1838720, dan  $N^{(III)}$  sebesar 1049536.



**Gambar 2.9** a) Pengambilan data pada *test section* b) Mesh pada volume (**Rup dan Sarna: 2011**)

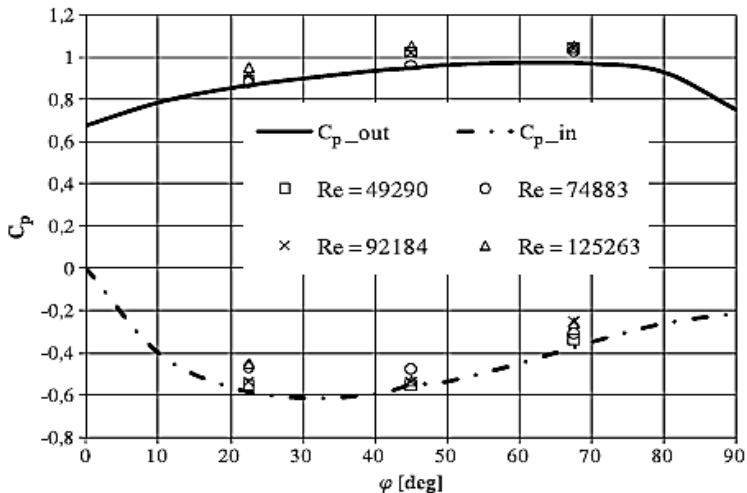


**Gambar 2.10** a) Perbandingan profil kecepatan antara eksperimen dan simulasi pada  $\varphi = 30^\circ$  ( $z/D_h = 0,0$ ) b) Perbandingan profil kecepatan antara eksperimen dan simulasi dengan  $x/D_h = 1,0$  ( $z/D_h = 0,0$ ) (**Rup dan Sarna: 2011**)

Gambar 2.10 a) menunjukkan profil kecepatan aliran pada saat melewati *elbow*  $90^\circ$  pada  $\varphi = 30^\circ$ . Kecepatan aliran pada *inner wall* lebih besar karena radiusnya yang lebih kecil daripada *outer wall*. Perbandingan yang hampir sama antara eksperimen dan simulasi. Sedangkan gambar 2.10 b) menunjukkan profil kecepatan aliran setelah *outlet elbow*  $90^\circ$  sejauh  $1D_h$ . Terjadi perlambatan

kecepatan aliran pada sisi *inner wall* karena aliran yang terseparasi saat melewati corner *elbow*  $90^\circ$ . Hasil dari eksperimen dan simulasi terlihat perbedaan yang cukup signifikan. Namun terdapat satu variasi *mesh* yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada jumlah *mesh*  $Vk^{III} = 1034775$ .

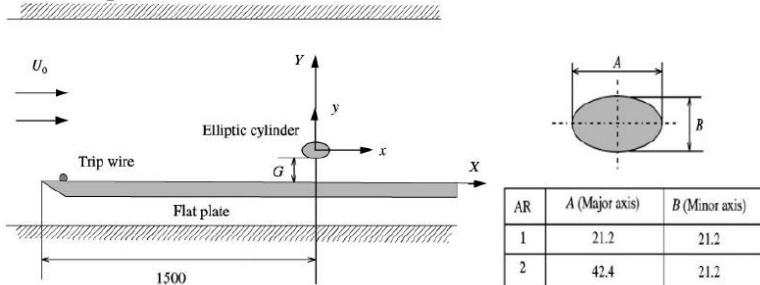
Gambar 2.11 menunjukkan nilai *pressure coefficient* ( $C_p$ ) pada *inner* dan *outer wall*. Pada *outer wall*, terjadi kenaikan nilai  $C_p$  pada  $\varphi = 80^\circ$  mengindikasikan terjadi separasi aliran. Kenaikan nilai  $C_p$  menyebabkan kenaikan *pressure drop*. Kenaikan nilai  $C_p$  juga terjadi pada *inner wall* mulai dari  $\varphi$  sebesar  $45^\circ$ . Kenaikan nilai  $C_p$  juga mengindikasikan adanya separasi aliran. Hal tersebut menyebabkan terjadinya *pressure drop* sehingga merugikan aliran.



**Gambar 2.11** Profil *pressure coefficient* pada *inner* dan *outer wall* (Rup dan Sarna: 2011)

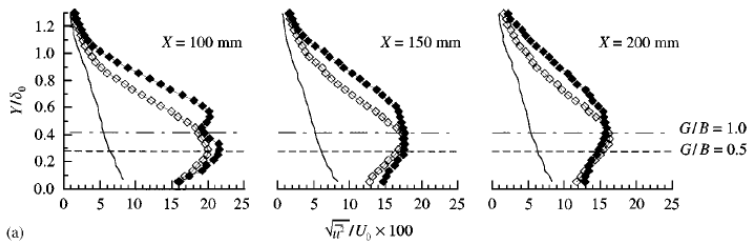
H. Choi dan J. Lee (2010) melakukan penelitian yang berjudul *Ground Effect Of Flow Around An Elliptic Cylinder In A Turbulent Boundary Layer*. Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen untuk mengetahui pengaruh dari sebuah silinder yang diletakkan dekat dengan permukaan plat datar. Penelitian ini memvariasikan rasio gap ( $G/B$ ) antara silinder dan permukaan plat

datar. Silinder yang digunakan berupa *eclips* dan sirkular, keduanya mempunyai ratio *axis* (AR) sebesar 1. Plat datar yang digunakan berada di dalam *wind tunnel* yang mempunyai ukuran  $p \times l \times t$  sebesar  $6 \times 0,72 \times 0,6$  m. Intensitas turbulensi *freestream* pada bagian uji kurang dari 0,08% pada kecepatan sebesar 10 m/s. Gambar 2.12 menunjukkan skema penelitian yang dilakukan dengan variasi gap sebesar 0,5B dan 1B. Plat datar memiliki ketebalan sebesar 15 mm. Silinder diletakkan pada 1,5 m dari depan plat datar. Selain itu juga diletakkan kawat pengganggu dengan diameter 3,5 mm berjarak 100 mm dari ujung depan plat. Penelitian ini menggunakan bilangan Reynolds sebesar  $1,4 \times 10^4$  dan kecepatan *freestream* sebesar 10 m/s.



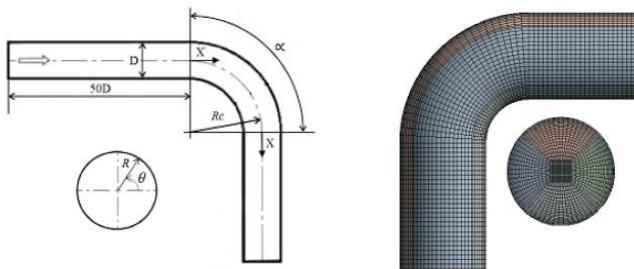
**Gambar 2.12** Skema susunan peralatan penelitian ((H. Choi dan J. Lee, 2010)

Gambar 2.13 menunjukkan intensitas turbulensi aliran tanpa silinder dan menggunakan silinder. Hasil yang didapatkan dari penelitian membuktikan bahwa silinder dapat meningkatkan intensitas turbulensi. Kenaikan terbesar terjadi pada penambahan silinder sirkular. Variasi gap juga berpengaruh dalam penentuan hasil, intensitas turbulensi dengan gap 1B lebih besar daripada gap 0,5B. Kemudian jarak yang digunakan yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam, yaitu 100 mm, 150 mm, dan 200 mm. Dari ketiga jarak tersebut juga membuktikan bahwa penambahan silinder dapat meningkatkan intensitas turbulensi.



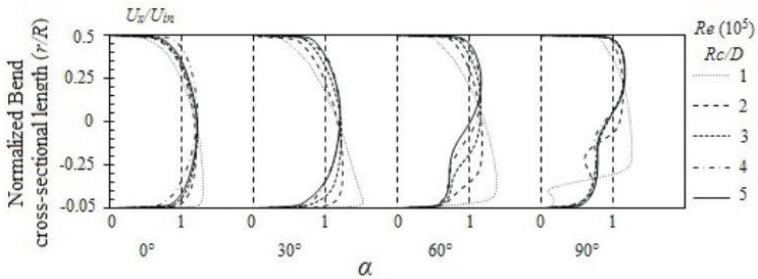
**Gambar 2.13** Profil intensitas turbulensi pada jarak 100, 150, dan 200 mm pada  $AR = 1$  (H. Choi dan J. Lee, 2010)

**Dutta dan Nandi (2015)** melakukan penelitian yang berjudul *Effect Of Reynolds Number and Curvature Ratio On Single Phase Turbulent Flow In Pipe Bends*. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi bilangan Reynolds dan rasio kelengkungan radius *elbow*  $90^\circ$  terhadap profil kecepatan aliran. Variasi dari *curvature ratio* ( $Rc$ ) sebesar 1D sampai 5D,  $R$  merupakan radius kelengkungan dan  $D$  merupakan diameter pipa. Radius kelengkungan *inner wall* sebesar 0,01 m. Gambar 2.14 menggambarkan skema dari geometri pipa dan permodelan komputasi.



**Gambar 2.14** Skema geometri pipa dan permodelan komputasi (Dutta dan Nandi, 2015)



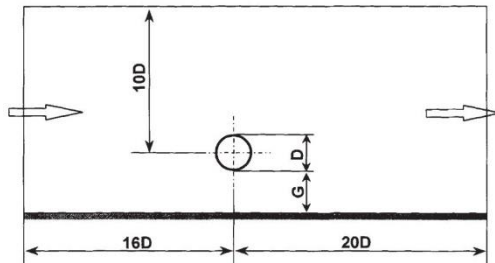


**Gambar 2.15** Profil kecepatan dengan variasi *curvature ratio* ( $R_c$ ) sebesar 1D sampai 5D dengan bilangan Reynolds sebesar  $10^5$ . (Dutta dan Nandi, 2015)

Gambar 2.15 menggambarkan profil kecepatan dengan variasi *curvature ratio* ( $R_c$ ) sebesar 1D sampai 5D dengan bilangan Reynolds sebesar  $10^5$ . Dimensi dari *upstream pipe* sepanjang 50D, sedangkan *downstream pipe* sepanjang 20D. Bilangan Reynolds yang digunakan sebesar  $10^5$  sampai  $10^6$ . Peningkatan bilangan Reynolds dapat mengurangi efek dari *curvature ratio*. Perbedaan signifikan yang muncul pada setiap variasi *curvature ratio* terdapat pada profil kecepatan di dekat *inner wall*. Sedangkan variasi bilangan Reynolds tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hasil dari penelitian ini didapatkan profil kecepatan terbaik terjadi pada variasi  $R_c$  sebesar 5D dan bilangan Reynolds sebesar  $10^5$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *curvature ratio* dapat menunda terjadinya separasi aliran sehingga *backflow* yang terjadi juga semakin berkurang.

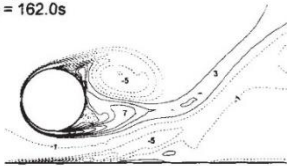
Lei, dkk (1998) melakukan penelitian untuk mengetahui *vortex shedding* yang dihasilkan oleh silinder pada plat datar. Bilangan Reynolds yang digunakan sebesar 1000. Plat datar yang digunakan mempunyai panjang sebesar 26D. Pengambilan data sampai pada jarak sebesar 10D dari permukaan atas bodi silinder. Penambahan silinder pengganggu dengan variasi gap ( $G/D$ ) sebesar 0,1 dan 0,5. Pada gambar 2.16 menunjukkan skema pengambilan data simulasi numerik berupa gambar aliran secara 2D. Adanya perbandingan data variasi  $G/D$  digunakan untuk

menganalisis keadaan aliran yang ada di *upper* dan *lower* bodi silinder.



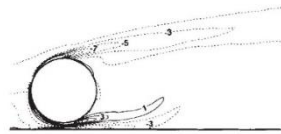
**Gambar 2.16** Skema percobaan dengan peletakkan silinder (Lei, dkk, 1998)

$G/D = 0.5$   
Time = 162.0s



(a)

$G/D = 0.1$   
Time = 162s



(b)

**Gambar 2.17** Vorticity sesaat sekitar silinder pada variasi (a)  $G/D$  0,5 (b)  $G/D$  0,1 (Lei, dkk, 1998)

Gambar 2.17 menunjukkan bagaimana keadaan *vortex shedding* pada variasi  $G/D$  0,1 dan 0,5. Garis panjang menunjukkan *vortex* positif, sedangkan garis putus-putus menunjukkan *vortex* negatif. Pada gambar 2.17 (a) menunjukkan bahwa *upper shear layer* silinder dan *wall shear layer* memiliki *vortex* negatif, sedangkan *lower shear layer* silinder memiliki *vortex* positif. *Vortex* positif terjadi semakin kecil sampai pada *downstream* karena pertumbuhan dari *vortex* negatif. Pada gambar 2.17 (b) menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara *lower shear layer* dan *wall shear layer*. Hal tersebut menyebabkan *vortex* positif mengalami separasi sehingga sangat lemah terjadi. *Lower shear layer* semakin tumbuh tetapi tidak cukup kuat untuk menyentuh *upper shear layer*. Oleh karena itu, di dekat *wake* tidak terjadi *vortex shedding*.

## BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan dijelaskan tentang metode penelitian yang digunakan untuk mendapatkan data berupa *pressure drop*, *loss coefficient*, *pressure coefficient*, dan profil kecepatan *downstream* bidang vertikal maupun horizontal. Peralatan yang digunakan, yaitu *square duct* dengan *elbow 90°* dengan rasio kelengkungan ( $R/D_h$ ) sebesar 1,5. Penambahan *inlet disturbance body* (IDB) di depan *inlet elbow 90°* yang berjarak ( $l/D_h$ ) sebesar 0,1. Variasi IDB yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu tanpa IDB dan gap ( $g/d$ ) IDB sebesar 0,1 sampai 0,5. Sedangkan variasi bilangan Reynolds ( $Re_{D_h}$ ) yang digunakan dalam penelitian ini sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  atau pada kecepatan udara sebesar 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s.

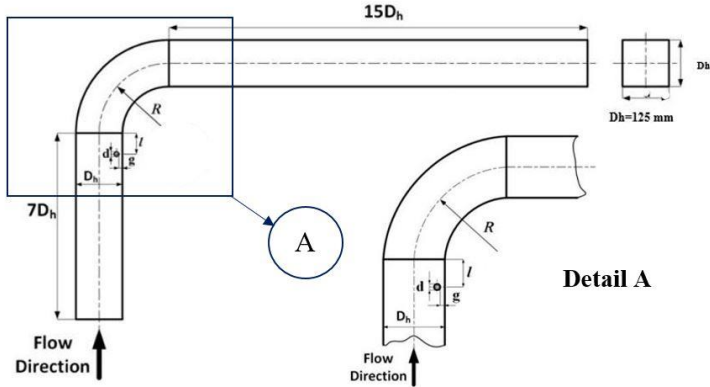
Variasi pengambilan data dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pengambilan *pressure drop square duct* tanpa menggunakan IDB dan menggunakan IDB dengan variasi  $g/d=0,1 - 0,5$  pada  $Re_{D_h}$  sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ .
- Pengambilan *loss coefficient elbow 90°* tanpa menggunakan IDB dan menggunakan IDB dengan variasi  $g/d=0,1 - 0,5$  pada  $Re_{D_h}$  sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ .
- Pengambilan *pressure coefficient elbow 90°* tanpa menggunakan IDB dan menggunakan IDB dengan variasi  $g/d=0,1 - 0,5$  pada  $Re_{D_h}$  sebesar  $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ .
- Pengambilan profil kecepatan *downstream* bidang vertikal dan horizontal pada  $x/D_h=1$  dengan  $Re_{D_h}$  sebesar  $8,74 \times 10^4$ .

### 3.1 Skema Penelitian

Penelitian ini menggunakan saluran yang berpenampang bujur sangkar (*square duct*). Gambar 3.1 menunjukkan sketsa *test section* dari pandangan atas dengan arah aliran udara masuk dari *inlet upstream square duct* dan dilengkapi dengan peletakkan *inlet*

*disturbance body* (IDB) di depan *inlet elbow 90°*. Variasi bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) sebesar  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  dengan tanpa IDB dan variasi gap ( $g/d$ ) sebesar 0,1 sampai 0,5. Saluran udara yang terdiri dari *upstream duct* sepanjang  $7D_h$ , *elbow 90°* dan *downstream duct* sepanjang  $15D_h$ .



**Gambar 3.1** Sketsa *test section* (pandangan atas)

Spesifikasi dari *square duct* sebagai berikut:

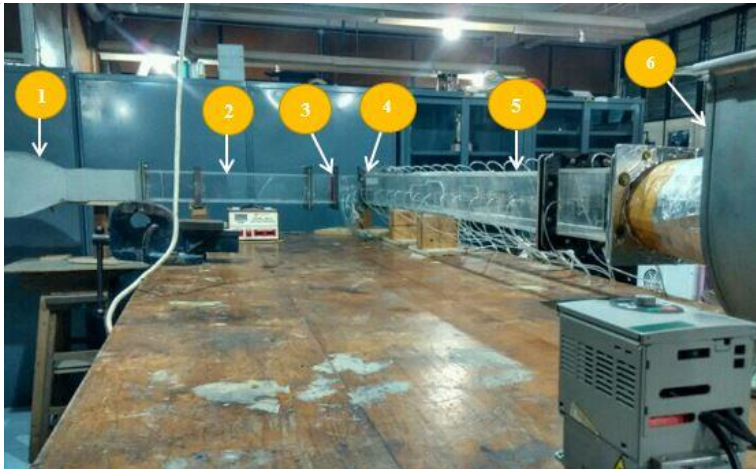
- Bentuk penampang : Persegi
- Bahan : Akrilik
- Tebal : 8 mm
- $L_m$  (panjang total garis tengah streamline elbow  $90^\circ$ ): 2973,12 mm
- $L_i$  (upstream duct) : 750 mm
- $L_o$  (downstream duct) : 2125 mm
- $R$  (centerline elbow  $90^\circ$  radius) : 187,5 mm
- $D_h$  (diameter hidrolis) : 125 mm
- $l$  (jarak inlet disturbance body dari inlet elbow  $90^\circ$ ): 37,5 mm

### 3.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, yaitu *honey comb*, *nozzle*, *square duct*, *inlet dicturbance body*, *centrifugal fan*, dan alat ukur.

### 3.2.1 *Square Duct*

Pada penelitian ini menggunakan *square duct* dengan jenis *open circuit*, udara yang masuk melalui *honey comb* akan dialirkan ke dalam instalasi *square duct* dan dikeluarkan melalui *centrifugal fan*. *Square duct* terdiri dari *upstream duct*, *elbow 90°*, dan *downstream duct*. Pada penelitian ini digunakan instalasi dengan skala model karena membuat instalasi dengan skala sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang lebih besar. Pembuatan *square duct* dan *elbow 90°* dengan kondisi-kondisi yang mendekati kenyataan agar mendapatkan hasil yang cukup memadai dan akurat. Gambar 3.2 menunjukkan penampakan asli dari instalasi saluran udara beserta peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian.



**Gambar 3.2** Susunan peralatan penelitian

- Keterangan :
1. *Nozzle*
  2. *Upstream duct*
  3. *Inlet dicturbance body*
  4. *Elbow 90°*
  5. *Downstream duct*
  6. *Centrifugal fan*

### 3.2.2 *Honey Comb, Screen dan Nozzle*

Pada rangkaian *nozzle* terdapat *screen* dan *honey comb*. Peletakkan rangkaian sebelum *inlet upstream duct*. *Nozzle* berfungsi sebagai penambah kecepatan aliran sebelum memasuki *upstream duct*. *Screen* dan *honey comb* berfungsi sebagai pembentuk profil aliran *uniform* dan pengurang turbulensi aliran ketika memasuki *upstream duct*. Sehingga didapatkan profil kecepatan aliran yang *uniform* ketika memasuki *upstream duct* sebagai acuan dalam pengukuran profil kecepatan.

### 3.2.3 *Centrifugal Fan*

*Centrifugal fan* digunakan untuk mengalirkan udara pada saluran udara. Alat ini dipilih karena bisa mengalirkan udara dengan kecepatan yang rendah. *Centrifugal fan* disambungkan dengan *inverter*. Pengaturan kecepatan dengan mengatur frekuensi pada *inverter*. Spesifikasi dari *centrifugal fan* sebagai berikut:

- Merk : ElexMax Three-Phase Asynchronous Motor
- Type : 71M4 – 4 B3
- No : 0221
- Voltase : 220 / 380 Vol
- Frekuensi : 50 Hz
- Daya : 0,75 KW
- Putaran : 1350 RPM
- Berat : 8,7 kg

### 3.2.4 *Alat Ukur*

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa alat ukur untuk mengukur tekanan statis dan stagnasi, yaitu *wall pressure tap*, *pitot static tube*, transduser dan manometer.

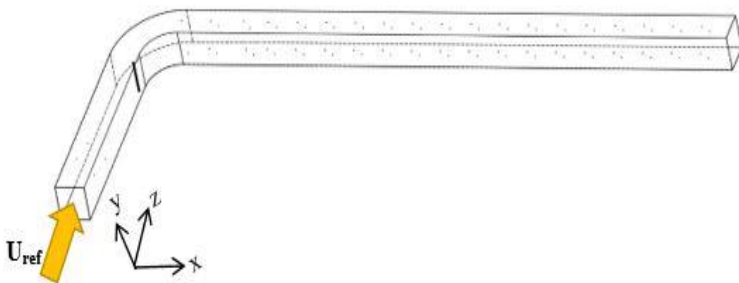
#### 1. *Wall Pressure Tap*

*Wall pressure tap* yaitu alat ukur yang dipasang sepanjang kontur permukaan benda uji maupun saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan berupa lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang

terhubung pada manometer atau transduser tekanan. Pemasangan *wall pressure tap* pada *upstream duct*, *elbow 90°*, dan *downstream duct*.

## 2. *Pitot Static Tube*

*Pitot static tube* yaitu alat yang digunakan untuk mengukur tekanan statis dan stagnasi aliran fluida yang terdapat pada saluran maupun yang terletak setelah benda uji. Penggunaan *pitot static tube*, yaitu pada pengukuran validasi pengambilan data pada test section dan pengambilan data profil kecepatan bidang horizontal dan vertikal. Gambar 3.3 menunjukkan pemasangan *wall pressure tap* pada permukaan dinding secara keseluruhan pada *downstream duct* mulai dari *outlet elbow 90°* yang disusun paralel pada masing-masing *test section*. Tekanan statis diukur mulai dari titik pengukuran yang berjarak 937,5 mm sampai 2.937,5 mm dari *inlet upstream duct*. *Pitot static tube* dipasang sejajar dengan *wall pressure tap* pada kondisi *centerline* dan dipasang dengan jarak antar tap sebesar 125 mm. *Wall pressure tap* dipasang sebanyak 16 *section* pada *downstream duct*. Kemudian 16 *section* tersebut akan dijadikan sebagai posisi peletakkan *pitot static tube* yang digunakan untuk mengetahui profil aliran kecepatan.



**Gambar 3.3** Skema pemasangan *wall pressure tap*

### 3. *Pressure Tranducer dan Data Aquisisi*

*Pressure tranducer* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua macam, yaitu memiliki range 1" WC dan 3" WC. Spesifikasi dari *pressure tranducer* sebagai berikut:

1. Untuk mengukur profil kecepatan dan intensitas turbulensi
  - Model : PX653 - 01D5L
  - Range :  $\pm 1''$  WC (*Water column*)
  - Akurasi : 0.25 % FS (*Full scale*)
  - Output : 1 – 5 V DC
  - Excitation : 12 – 36 V DC
  - Ser.no. : X14500102
2. Untuk mengukur *pressure drop*
  - Model : PX653 - 03D5V
  - Range :  $\pm 3''$  WC (*Water column*)
  - Akurasi : 0.25 % FS (*Full scale*)
  - Output : 1 – 5 V DC
  - Excitation : 12 – 36 V DC
  - Ser.no. : X11450113

### 4. *Manometer dan Mistar*

Manometer berfungsi sebagai pembaca pengukuran tekanan statis dan stagnasi melalui *wall pressure tap* dan *pitot static tube*. Kemiringan pada manometer bertujuan untuk memudahkan pembacaan dan penggunaan mistar bertujuan untuk menentukan hasil dengan satuan panjang (cm). Manometer yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* ( $SG_{\text{kerosene}} = 0,827$ )
- Kemiringan :  $15^\circ$

#### 3.2.5 *Inlet Disturbance Body*

*Inlet disturbance body* merupakan bodi pengganggu yang diletakkan di depan *inlet elbow*  $90^\circ$  dengan jarak ( $l/D_h$ )=0,1 dan



memvariasikan gap ( $g/d$ )=0,1 sampai 0,5. Gambar 3.4 menunjukkan pemasangan *inlet disturbance body* pada variasi  $g/d=0,1$ . *Inlet disturbance body* memiliki diameter sebesar 12,5 mm dan tinggi sebesar 125 mm.



**Gambar 3.4** *Inlet disturbance body*

### 3.3 Analisa Dimensi Parameter - Parameter yang Dianalisis

Analisa dimensi parameter berfungsi untuk mengetahui pengaruh dari parameter tersebut pada penelitian yang dilakukan. Parameter yang saling berhubungan ditunjukkan dengan bentuk parameter-parameter tak berdimensi yang dikenal juga dengan teori Buckingham Pi. Parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran di sepanjang *downstream duct* sebagai berikut:

$\Delta p$  : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi  
( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  : massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  : viskositas absolut fluida ( $\text{kg/(m.s)}$ )

$U_{ref}$  : kecepatan *freestream* di *inlet upstream square duct* (m/s)

$u$  : kecepatan lokal (m/s)

$R$  : *elbow 90° radius* (m)

- $l$  : panjang *upstream square duct* dari *inlet elbow*  $90^\circ$ (m)  
 $D_h$  : diameter hidrolis saluran (m)  
 $d$  : diameter *inlet disturbance body*  
 $g$  : jarak gap dengan antara *inlet disturbance body* dan dinding  
 $y$  : aliran searah sumbu koordinat y  
 $z$  : aliran searah sumbu koordinat z  
 $x$  : aliran searah sumbu koordinat x

### 3.3.1 Analisis Grup Tak Berdimensi untuk *Pressure Drop* pada *Square Duct*

Analisis *pressure drop* pada *square duct* dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga fungsi parameter dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan terdiri dari fungsi sebagai berikut:

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, u, l, R, g, x, y, z, ) \quad (3.1)$$

dimana  $\Delta P$  adalah perbedaan tekanan ( $N/m^2$ ). Penggunaan teori Buckingham Pi dengan parameter  $\rho, U_{ref}$  dan  $D_h$  diperoleh 10 grup tak dimensi yaitu:

1.  $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{ref}^2}$  ; *coefficient pressure*
2.  $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$  ; *bilangan Reynolds*
3.  $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$  ; perbandingan diameter *inlet disturbance body* dengan diameter hidrolis
4.  $\pi_4 = \frac{u}{U_{ref}}$  ; perbandingan kecepatan lokal dengan kecepatan *freestream*
5.  $\pi_5 = \frac{l}{D_h}$  ; perbandingan jarak *upstream duct* dari *inlet elbow*  $90^\circ$  dengan diameter hidrolis

6.  $\pi_6 = \frac{R}{D_h}$  ; perbandingan *radius elbow*  $90^\circ$  dengan diameter hidrolis
7.  $\pi_7 = \frac{g}{D_h}$  ; perbandingan jarak gap dengan antara *inlet disturbance body* dan diameter hidrolis
8.  $\pi_8 = \frac{x}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu x dengan diameter hidrolis
9.  $\pi_9 = \frac{y}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu y dengan diameter hidrolis
10.  $\pi_{10} = \frac{z}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu z dengan diameter hidrolis

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut:

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}) \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f \left( \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{u}{U_{ref}}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h} \right) \quad (3.3)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah

$\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{u}{U_{ref}}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}$  sehingga  $\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1 \left( \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{g}{D_h} \right)$  dan untuk *pressure drop* tak berdimensi  $\left( \frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} \right)$  pada *square duct* adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2 \left( Re_{D_h}, \frac{g}{D_h} \right) \quad (3.4)$$

### 3.3.2 Analisis Grup Tak Berdimensi untuk Kecepatan pada *Square Duct*

Analisis profil kecepatan pada *square duct* dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga fungsi parameter dapat digunakan untuk mengetahui profil kecepatan. Profil kecepatan terdiri dari fungsi sebagai berikut:

$$u = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, g, l, R, x, y, z) \quad (3.5)$$

dimana  $u$  adalah kecepatan lokal (m/s) dan menggunakan teori Buckingham Pi dengan parameter  $\rho, U_{ref}$  dan  $D_h$  diperoleh 13 grup tak dimensi yaitu :

1.  $\pi_1 = \frac{u}{U_{ref}}$  ; kecepatan tak berdimensi
2.  $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$  ; bilangan *Reynolds*
3.  $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$  ; perbandingan diameter *inlet disturbance body* dengan diameter hidrolis
4.  $\pi_4 = \frac{g}{D_h}$  ; perbandingan jarak gap dengan antara *inlet disturbance body* dan diameter hidrolis
5.  $\pi_5 = \frac{l}{D_h}$  ; perbandingan jarak *upstream duct* dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolis
6.  $\pi_6 = \frac{R}{D_h}$  ; perbandingan *radius elbow 90°* dengan diameter hidrolis
7.  $\pi_{10} = \frac{x}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu  $x$  dengan diameter hidrolis
8.  $\pi_{11} = \frac{y}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu  $y$  dengan diameter hidrolis
9.  $\pi_{12} = \frac{z}{D_h}$  ; perbandingan arah aliran sumbu  $z$  dengan diameter hidrolis

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9) \quad (3.6)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \quad (3.7)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah

$$\frac{d}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{y}{D_h} \text{ dan } \frac{z}{D_h} \text{ sehingga } \frac{u}{U_{ref}} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \text{ dan}$$

untuk kecepatan tak berdimensi ( $\frac{u}{u_{ref}}$ ) pada *square duct* adalah sebagai berikut:

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_2 \left( Re_{Dh}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h} \right) \quad (3.8)$$

### 3.4 Langkah-Langkah Validasi

Validasi dilakukan pada pengambilan data tekanan statis dan dinamis. Peralatan yang digunakan, yaitu manometer, pressure transducer 1" WC, pressure transducer 3" WC, data aqisisi DAQ PRO 5300, dan *pitot static tube*. Langkah-langkah validasi yang dilakukan sebelum pengambilan data pada penelitian sebagai berikut:

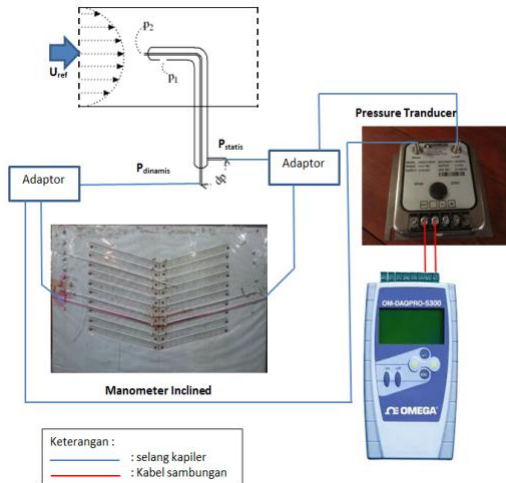
#### 3.4.1 Validasi Tekanan Dinamis

Validasi tekanan dinamis dilakukan dengan melakukan pengukuran tekanan statis dan stagnasi dengan *pitot static tube* pada *upstream duct*. Pembacaan hasil pengukuran tekanan dengan dua metode, yaitu pembacaan dengan manometer dan transduser. Hasil output dari manometer berupa  $\Delta h$  dan transduser berupa voltase. Gambar 3.5 menunjukkan skema pengukuran dengan set alat ukur tekanan. Sedangkan gambar 3.6 menunjukkan grafik hasil pengukuran tekanan dinamis dan didapatkan nilai  $R^2$  yang menentukan validasi tekanan dinamis.

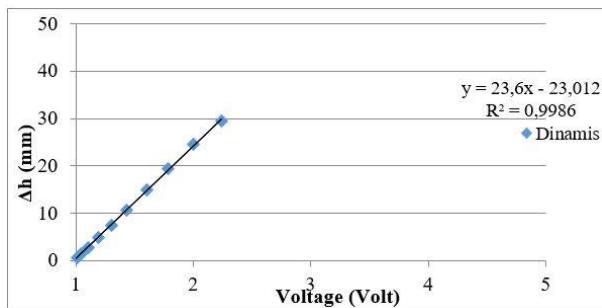
Langkah-langkah melakukan validasi pengukuran tekanan dinamis sebagai berikut:

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *freestream* tanpa dipasang *inlet disturbance body*.
2. *Pitot static tube* dipasang pada dinding saluran udara yang tersambung pada manometer dan transduser.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data manometer dan transduser untuk tekanan dinamis.
5. Dari manometer didapatkan  $\Delta h$  (mm) dan dari data transduser didapatkan voltase (volt).

6. Pembuatan grafik  $\Delta h$  (mm) vs voltase (volt) dari data-data yang didapatkan agar diketahui hubungan dengan formula.



**Gambar 3.5** Susunan alat ukur validasi tekanan dinamis



**Gambar 3.6** Grafik hasil validasi tekanan dinamis transduser 1” WC

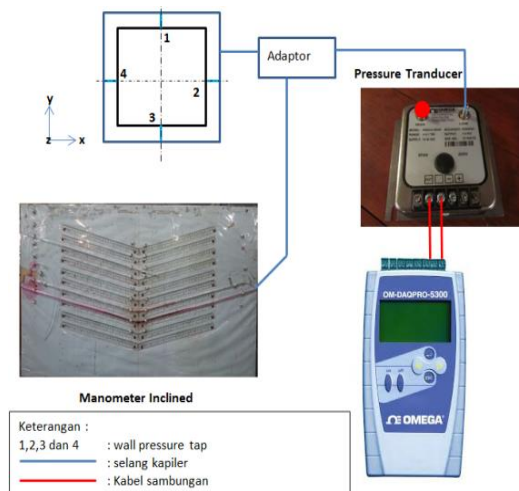
### 3.4.2 Validasi Tekanan Statis

Validasi tekanan statis dilakukan dengan melakukan pengukuran tekanan statis *wall pressure tap* pada *inlet upstream duct*. Pembacaan hasil pengukuran tekanan dengan dua metode, yaitu pembacaan dengan manometer dan transduser. Hasil output

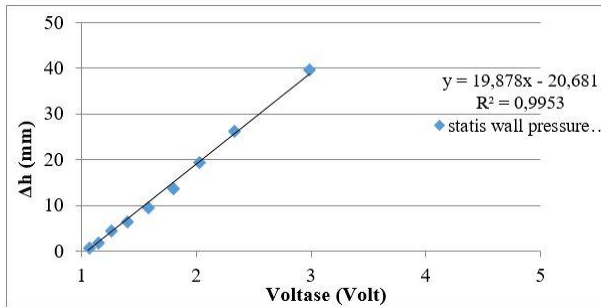
dari manometer berupa  $\Delta h$  dan transduser berupa voltase. Gambar 3.7 menunjukkan skema pengukuran dengan set alat ukur tekanan. Sedangkan gambar 3.8 menunjukkan grafik hasil pengukuran tekanan statis dan didapatkan nilai  $R^2$  yang menentukan validasi tekanan statis.

Langkah-langkah melakukan validasi pengukuran tekanan statis sebagai berikut:

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* tanpa dipasang *inlet disturbance body*.
2. *Wall pressure tap* pada *inlet upstream duct* dihubungkan pada manometer dan transduser.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data manometer dan transduser untuk tekanan statis dinding.
5. Dari manometer didapatkan  $\Delta h$  (mm) dan dari data transduser didapatkan voltase (volt).
6. Pembuatan grafik  $\Delta h$  (mm) vs voltase (volt) dari data-data yang didapatkan agar diketahui hubungan dengan formula.



**Gambar 3.7** Susunan alat ukur validasi tekanan statis



**Gambar 3.8** Skema dan hasil validasi tekanan statis transduser 3” WC

### 3.5 Prosedur Pengambilan Data

#### 3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Pada penelitian ini parameter yang diukur meliputi tekanan statis dan stagnasi. Pengukuran suhu ruangan dilakukan sebelum pengambilan data. Setiap pengukuran memiliki prosedur penelitian diantara sebagai berikut:

- 1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis sebagai berikut:
  - a) *Test section* dipersiapkan.
  - b) *Pitot static tube* dipasang pada posisi yang ingin diukur.
  - c) *Pitot static tube* dihubungkan dengan transduser dengan menggunakan selang kapiler.
  - d) Frekuensi *inverter* diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
  - e) Voltase dari transduser pada tekanan stagnasi pada dicatat.
  - f) *Blower* dimatikan
  - g) Langkah d sampai f diulangi sampai titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis sebagai berikut:
  - a) *Test section* dipersiapkan.



- b) *Wall pressure tap* dihubungkan ke transduser dengan selang kapiler.
- c) Frekuensi *inverter* diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
- d) Data voltase dari transduser dicatat.
- e) Selang kapiler transduser dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* pada titik *section* selanjutnya.
- f) Langkah c) sampai e) diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi  $16D_h$  dari *inlet downstream square duct*.

### 3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data kuantitatif dilakukan dengan membuat contoh perhitungan. Dalam perhitungan diperlukan beberapa data awal sebagai berikut:

- Diameter hidrolis ( $D_h$ ) : 125 mm
- Panjang *downstream duct* : 2125 mm
- Panjang *inlet upstream* sampai *downstream*
- Inner wall* ( $l_i$ ) : 3169,375 mm
- Outer wall* ( $l_o$ ) : 3267,5 mm
- Sudut manometer ( $\theta$ ) :  $15^\circ$
- *Specific gravity kerosene* ( $SG_{kerosene}$ ) : 0,827
- Percepatan gravitasi ( $g$ ) :  $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan dianggap konstan ( $T$ ) :  $28^\circ\text{C}$
- Massa jenis udara pada  $T = 28^\circ\text{C}$  ( $\rho_{ud}$ ) :  $1,182 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematis ( $T = 28^\circ\text{C}$ ) ( $\nu$ ) :  $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada  $T = 28^\circ\text{C}$  ( $\rho_{H_2O}$ ) :  $996,4 \text{ kg/m}^3$

#### 1) Perhitungan untuk Bilangan Reynolds

Pada eksperimen ini digunakan bilangan Reynolds yang didapat melalui persamaan 3.10 didapatkan kecepatan awal *centrifugal fan* diatur pada bilangan Reynolds  $8,74 \times 10^4$ .

$$Re_{Dh} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \quad (3.9)$$

dimana:  $\rho_{ud}$  : massa jenis udara pada 28°C (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\nu$  : viskositas kinematis udara pada T = 28°C (m<sup>2</sup>/s)  
 $\mu$  : viskositas absolut udara pada T = 28°C  
 $U_{ref}$  : kecepatan *freestream* pada *inlet upstream square duct* (m/s)  
 $D_h$  : diameter hidrolik *square duct* (m)  
 $Re_{Dh}$  : bilangan Reynolds

Pengaturan frekuensi pada *inverter* dilakukan secara manual untuk mendapatkan kecepatan awal ( $U_{ref}$ ) sebesar 10 m/s. Dengan kalibrasi validasi tekanan dinamis pada saluran *upstream duct* melalui manometer untuk pengukuran nilai  $\Delta h$ . Nilai  $\Delta h$  diukur dari frekuensi 0 Hz sampai 50 Hz. Pengukuran kecepatan aliran masuk menggunakan persamaan 3.11 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 &= SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta y \sin 15^\circ \\ U_{ref}^2 &= \frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}} \\ U_{ref} &= \sqrt{\frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}} \quad (3.11) \end{aligned}$$

dimana :  $P_{dinamis}$  : ( $P_{stagnasi} - P_{statis}$ ) tekanan dinamis diukur dengan *pitot static tube* (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_{kerosene}$  : massa jenis *kerosene* pada 28°C (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_{udara}$  : massa jenis udara pada 28°C (kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta h$	: perbedaan fluida pada manometer (m)
$U_{ref}$	: kecepatan freestream pada <i>inlet upstream</i> (m/s)
$SG_{kerosene}$	: <i>Specific gravity kerosene</i> pada 28°C
$\rho_{H2O}$	: massa jenis air pada 28°C (kg/m <sup>3</sup> )

## 2) Perhitungan Kecepatan Lokal

Perhitungan profil kecepatan sepanjang *downstream duct* diukur pada 16 *test section* dengan variasi gap peletakkan *inlet disturbance body*. Perhitungan profil kecepatan pada setiap *section* sepanjang *downstream duct* ditulis sesuai persamaan 3.13 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{udara}}} \quad (3.12)$$

dimana:  $p_o$  : tekanan stagnasi  
 $p_s$  : tekanan statis  
 $\rho_{ud}$  : massa jenis udara pada  $T = 28^\circ\text{C}$   
 $p_o - p_s$  : tekanan dinamis

## 3) Perhitungan Loss Coefficient Elbow 90°

Perhitungan *loss coefficient elbow 90°* pada eksperimen ini menggunakan variasi gap sebesar 0,1d sampai 0,5d dari *inlet elbow 90°*. Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan *loss coefficient elbow 90°* pada saluran. *Loss coefficient elbow 90°* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Pada eksperimen ini, *loss coefficient elbow 90°* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *wall pressure tap inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°*.

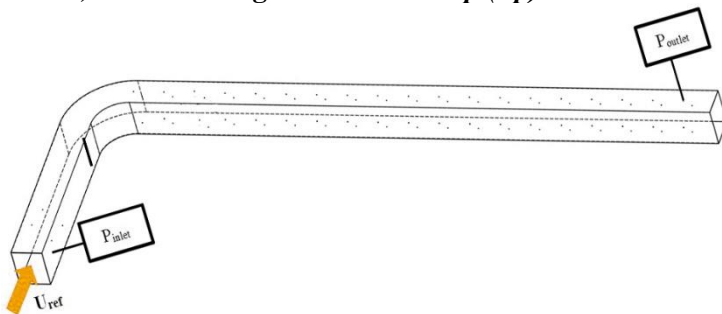
$$P_1 - P_{inlet elbow 90^\circ} = K_{elbow 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 x \rho_{udara}}{2} \quad (3.13)$$

$$K_{elbow 90^\circ} = \frac{(P_1 - P_{inlet elbow 90^\circ}) x 2}{\bar{V}^2 x \rho_{udara}} \quad (3.14)$$

dimana  $P_1$  : Tekanan pada *outlet elbow*  
 $90^\circ$  (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_{inlet elbow 90^\circ}$  : Tekanan pada *inlet elbow*  $90^\circ$   
 (N/m<sup>2</sup>)  
 $\bar{V}^2$  : Kecepatan udara masuk pada  
 upstream (m/s)  
 $\rho_{udara}$  : massa jenis udara pada 28°C  
 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $K_{elbow 90^\circ}$  : *loss coefficient elbow*  $90^\circ$

*Loss coefficient elbow*  $90^\circ$  pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi bilangan Reynolds dari  $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  (kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi gap *inlet disturbance body* sebesar 0,1d sampai 0,5d.

#### 4) Perhitungan *Pressure Drop* ( $\Delta p$ )



**Gambar 3.9** Lokasi perhitungan untuk *pressure drop*

*Pressure drop* adalah selisih tekanan *inlet* pada *upstream square duct* dan tekanan *outlet* pada *downstream square duct* seperti pada gambar 3.9. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan  $P_{inlet}$  dan  $P_{outlet}$  adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet}$$

$$\Delta P = (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{inlet}) - (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{outlet})$$

$$\Delta P = (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{inlet}) - (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{outlet}) \quad (3.15)$$

dimana:  $\Delta P$  : kecepatan lokal (m/s)  
 $P_{inlet}$  : Tekanan *inlet* pada *upstream square duct* (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_{outlet}$  : Tekanan *outlet* pada *downstream (section 14)* (N/m<sup>2</sup>)

##### 5) **Perhitungan Pressure Coefficient**

*Pressure coefficient* ( $C_p$ ) merupakan selisih antara tekanan lokal dan tekanan *freestream*. Perhitungan *pressure coefficient* dilakukan pada *elbow 90°* untuk mengetahui *pressure drop* pada *elbow 90°*, perhitungan  $C_p$  dilakukan pada sisi *inner* dan *outer* pada *elbow 90°*.

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (3.16)$$

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (3.17)$$

dimana  $C_p$  : *Pressure coefficient*  
 :  
 $P_c$  : Tekanan lokal (N/m<sup>2</sup>)  
 $P_\infty$  : Tekanan *freestream* (N/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)  
 $V$  : Kecepatan udara (m/s)

### 3.6 Urutan Langkah Penelitian

Pada tabel 3.1 dijelaskan urutan langkah- langkah penelitian yang akan dilakukan. Urutan langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Urutan langkah penelitian



No.	Profil Kecepatan	Pressure Drop
1.	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian
2.	<i>Inlet disturbance body</i> (IDB) dipasang pada jarak $(l/D_h)=0,1$ da gap $(g/d)=0,1$ dari <i>inlet elbow 90°</i>	<i>Inlet disturbance body</i> dipasang pada $l/D_h= 0,1$ dan $g/d=0,1$ sebelum <i>inlet elbow 90°</i>
3.	<i>Centrifugal fan</i> dinyalakan	<i>Centrifugal fan</i> dinyalakan
4.	Kecepatan pada <i>inlet upstream square duct</i> 10 m/s dengan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) sebesar $8,74 \times 10^4$	Kecepatan <i>inlet upstream square duct</i> 5 m/s sampai 17 m/s yang memiliki variasi bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) $3,97 \times 10^4$ sampai $1,35 \times 10^5$
5.	Profil kecepatan dihitung dari tekanan dinamis dengan <i>pitot static tube</i> pada 10 <i>sections</i> sepanjang <i>downstream duct</i> dengan setiap <i>section</i> terdapat 17 titik pengambilan data bidang horizontal dan vertikal	<i>Pressure drop</i> dihitung dari pengukuran tekanan statis <i>wall pressure tap</i> dengan tekanan pada <i>inlet upstream duct, inlet elbow 90°, outlet elbow 90°, dan outlet downstream duct</i>



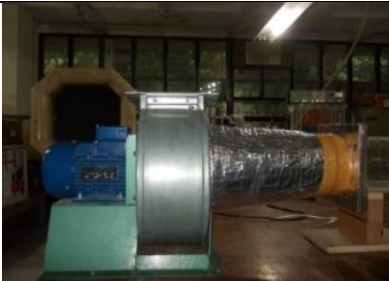
6.	Data diolah hingga didapatkan grafik profil kecepatan pada setiap <i>section</i>	Data diolah hingga didapatkan grafik <i>pressure drop</i> vs $Re_{Dh}$
7.	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi tanpa IDB, $g/d=0,2$ ; $g/d=0,3$ ; $g/d=0,4$ ; dan $g/d=0,5$	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi tanpa IDB, $g/d=0,2$ ; $g/d=0,3$ ; $g/d=0,4$ ; dan $g/d=0,5$

### 3.7 Gambar Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.2, yaitu DAQ PRO 5300, transduser 1" WR dan 3" WR, *inverter*, *centrifugal fan*, *pitot static tube*, manometer, dan *inlet disturbance body*.

**Tabel 3.2** Peralatan penelitian

No	Nama Alat	Gambar
1	<b>DAQ PRO 5300</b> 0-24 mA: 0-10V max Input: 8 <i>Rate: 100/sample</i> <i>Samples: 1000</i>	
2	<b><i>Pressure transducer 1" WC</i></b> Model: PX653 - 01D5L Range : $\pm 1"$ WC ( <i>Water column</i> ) Akurasi: 0.25 % FS ( <i>Full scale</i> ) Output: 1 – 5 V DC <i>Excitation: 12 – 36 V DC</i> Ser.no.: X14500102	

3	<p><b><i>Pressure transducer</i></b>  <b><i>3" WC</i></b>  Model: PX653 - 03D5V  Range: <math>\pm 3''</math> WC  (Water column)  Akurasi: 0.25 % FS  (Full scale)  Output: 1 – 5 V DC  Excitation: 12 – 36 V DC  Ser.no.: X11450113</p>	
4	<p><b><i>Inverter</i></b>  Model :  ATV31HU15M2A  U (V~) :  input = 200/240 Ø1  output = 200/240 Ø3  F (Hz) :  input = 50/60  output = 0.5/500  I (A) :  input = 15.8 max  output = 8.0</p>	
5	<p><b><i>Centrifugal fan</i></b>  Merk: ElexMax Three-Phase Asynchronous Motor  Type: 71M4 – 4 B3  No: 0221  Voltage: 220 / 380  Voltage  Frekuensi: 50 Hz  Daya: 0,75 KW  Putaran: 1350 RPM  Berat: 8,7 kg</p>	



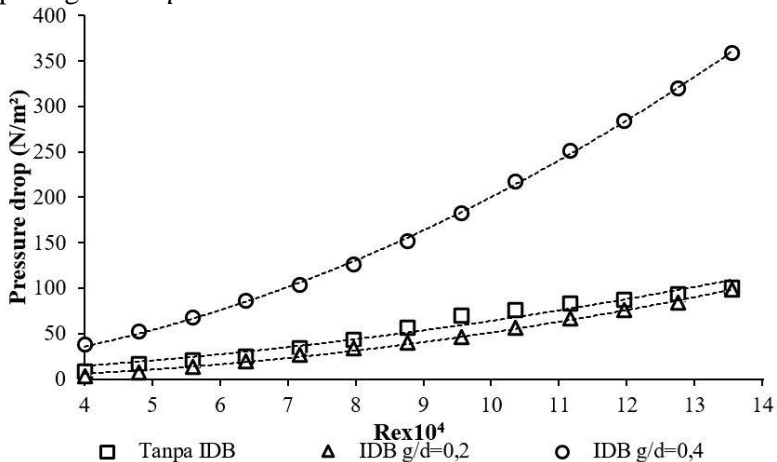


***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 *Pressure Drop* pada *Square Duct* dengan *Bilangan Reynolds* $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,35 \times 10^5$

Sub bab ini menampilkan hasil berupa grafik pengaruh *inlet disturbance body* (IDB) dan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) terhadap *pressure drop* ( $\Delta p$ ) *square duct*. Variasi tanpa IDB, gap ( $g/d$ ) sebesar 0,2, dan  $g/d=0,4$ . IDB dipasang pada jarak ( $l/Dh$ ) sebesar 0,1 dari *inlet elbow*  $90^\circ$  dengan rasio kelengkungan ( $R/Dh$ ) sebesar 1,5 . Sedangkan variasi  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  atau pada kecepatan udara sebesar 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s. Perhitungan  $\Delta p$  menggunakan tekanan pada *inlet upstream duct* dan *outlet downstream duct*. Hasil yang ditampilkan hanya 3 variasi karena tanpa IDB sebagai acuan data  $\Delta p$ ,  $g/d=0,1$  sebagai data optimal pemasangan IDB, dan  $g/d=0,4$  sebagai data peningkatan  $\Delta p$  terbesar.



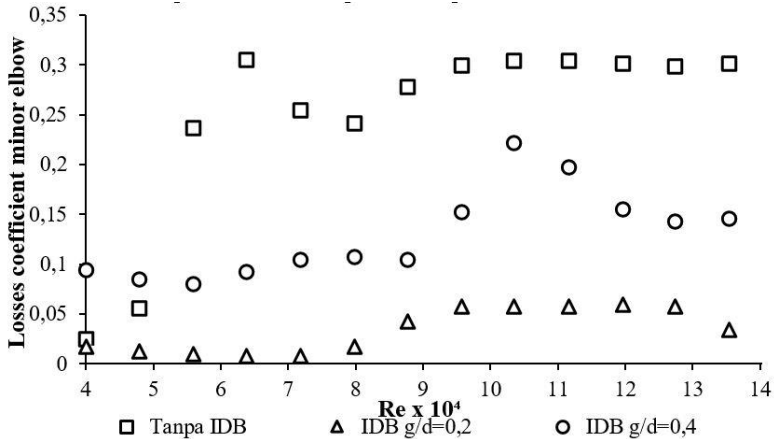
**Gambar 4.1** *Pressure drop square duct* dengan variasi peletakkan *inlet disturbance body* dan  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan  $\Delta p$  seiring dengan meningkatnya  $Re_{Dh}$ . Peningkatan optimum  $\Delta p$  pada  $g/d=0,2$  dan peningkatan signifikan pada  $g/d=0,4$  terhadap instalasi tanpa IDB. Pada  $g/d=0,2$  terjadi peningkatan gap  $\Delta p$  paling besar terhadap instalasi tanpa IDB pada  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ . Sedangkan pada  $g/d=0,4$  terjadi kenaikan  $\Delta p$  signifikan mulai  $Re_{Dh} 7,95 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ . Dengan adanya *elbow 90°* pada instalasi menyebabkan terjadinya gesekan, separasi aliran, dan aliran sekunder menyebabkan bidang alir fluida akan berkurang. Separasi aliran terjadi aliran yang tidak mampu melawan *advers pressure* pada sisi *inner wall*, sedangkan aliran sekunder terjadi karena adanya perbedaan besar kelengkungan radius *inner* dan *outer elbow 90°*.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa penambahan IDB menghasilkan kenaikan  $\Delta p$  seiring bertambahnya  $Re_{Dh}$ . Pada  $g/d=0,2$ , didapatkan kenaikan  $\Delta p$  yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa IDB pada setiap  $Re_{Dh}$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan IDB menyebabkan separasi aliran yang memiliki momentum aliran yang tinggi sehingga lebih mampu melawan *advers pressure* pada sisi *inner elbow 90°*. Perbandingan tanpa menggunakan IDB dengan  $g/d=0,2$  didapatkan penurunan  $\Delta p$  sebesar 20,52%. Kondisi paling efektif terjadi pada  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ , karena terjadi perbedaan  $\Delta p$  yang paling besar. Adanya penurunan  $\Delta p$  pada variasi  $g/d=0,2$  mengindikasikan terjadinya penundaan separasi aliran sehingga *blockage area* yang ditimbulkan menjadi lebih kecil. Pada  $g/d=0,4$ , didapatkan kenaikan  $\Delta p$  yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa IDB pada setiap  $Re_{Dh}$ . Kenaikan signifikan mulai dari  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan IDB sudah tidak efektif karena tidak mampu melawan *advers pressure*, bahkan dapat menghasilkan *blockage area* yang semakin besar karena pengaruh separasi aliran yang terjadi lebih awal pada  $Re_{Dh}$  tinggi.

#### 4.2 Loss coefficient elbow 90° pada Square Duct dengan Bilangan Reynolds $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,35 \times 10^5$

Sub bab ini menampilkan hasil berupa grafik pengaruh *inlet disturbance body* (IDB) dan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) terhadap *loss coefficient* ( $K$ ) elbow 90°. Variasi tanpa IDB, gap ( $g/d$ ) sebesar 0,2, dan  $g/d=0,4$ . IDB dipasang pada jarak ( $l/D_h$ )=0,1 di depan *inlet elbow 90°* yang mempunyai rasio kelengkungan ( $R/D_h$ ) sebesar 1,5 dengan variasi  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ . Perhitungan didapatkan dari data perbedaan tekanan pada *pressure tap inlet elbow 90°* di *upstream duct* dan *pressure tap outlet elbow 90°* di *downstream duct*.



**Gambar 4.2** Loss coefficient elbow 90° dengan variasi peletakkan *inlet disturbance body* dan  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$

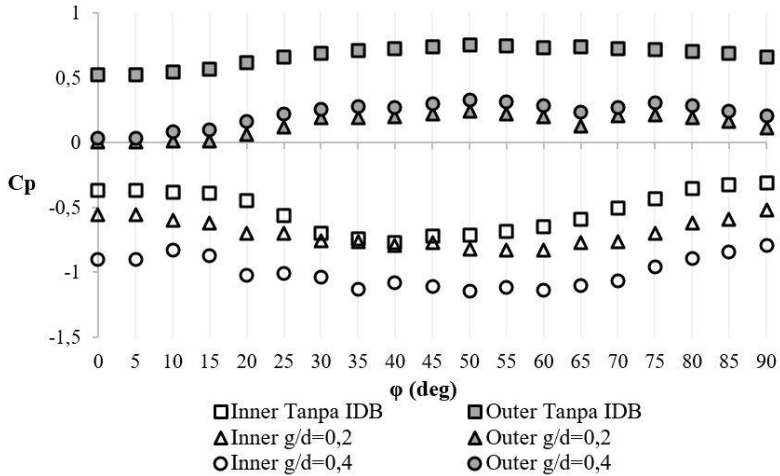
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan  $K$  seiring dengan meningkatnya  $Re_{Dh}$ . Penambahan IDB terbukti dapat menurunkan nilai  $K$ . Pada variasi tanpa IDB terjadi penurunan  $K$  mulai dari  $Re_{Dh}$   $6,36 \times 10^4$  sampai  $7,95 \times 10^4$  dan peningkatan signifikan mulai dari  $Re_{Dh}$   $4,77 \times 10^4$  sampai  $6,36 \times 10^4$ . Pada variasi  $g/d=0,2$  terjadi penurunan  $K$  mulai dari  $Re_{Dh}$   $3,96 \times 10^4$  sampai  $6,36 \times 10^4$  dan dari  $1,27 \times 10^5$  sampai  $1,35 \times 10^5$ . Pada variasi  $g/d=0,4$  terjadi penurunan  $K$  pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  sampai  $5,56 \times 10^4$

dan  $1,03 \times 10^5$  sampai  $1,19 \times 10^5$ . *Headloss minor elbow 90°* dipengaruhi oleh nilai  $\Delta p$  dan kecepatan aliran fluida. Peningkatan K disebabkan oleh nilai  $\Delta p$  yang besar dibandingkan kenaikan kecepatan aliran fluida. Sedangkan penurunan K disebabkan oleh nilai  $\Delta p$  yang konstan dibandingkan kenaikan kecepatan aliran fluida.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa peningkatan  $\Delta p$  yang signifikan pada variasi tanpa IDB dengan  $Re_{Dh}$  mulai dari  $4,77 \times 10^4$  sampai  $6,36 \times 10^4$  menyebabkan kenaikan yang signifikan pula pada K. Sedangkan pada  $Re_{Dh}$   $6,36 \times 10^4$  sampai  $7,95 \times 10^4$  terjadi perubahan  $\Delta p$  yang cenderung konstan sehingga menyebabkan penurunan pada K. Pada variasi  $g/d=0,2$  terjadi perubahan  $\Delta p$  yang cenderung konstan pada  $Re_{Dh}$   $3,96 \times 10^4$  sampai  $6,36 \times 10^4$  dan  $1,27 \times 10^5$  sampai  $1,35 \times 10^5$  sehingga menyebabkan penurunan pada K. Pada variasi  $g/d=0,4$  terjadi peningkatan  $\Delta p$  yang signifikan pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  sampai  $1,03 \times 10^5$  menyebabkan kenaikan yang signifikan pula pada K. Sedangkan pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  sampai  $5,56 \times 10^4$  dan  $1,03 \times 10^5$  sampai  $1,19 \times 10^5$  terjadi perubahan  $\Delta p$  yang cenderung konstan dan turun sehingga menyebabkan penurunan K.

#### **4.3 Pressure Coefficient Elbow 90° pada Square Duct dengan Bilangan Reynolds $3,97 \times 10^4$ , $8,74 \times 10^4$ , dan $1,35 \times 10^5$**

Sub bab ini menampilkan hasil berupa grafik pengaruh *inlet disturbance body* (IDB) dan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ ) terhadap *pressure coefficient* ( $C_p$ ) *elbow 90°*. Variasi gap ( $g$ ) IDB, yaitu tanpa dipasang,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . IDB dipasang pada jarak ( $l/D_h$ )=0,1 dari *inlet elbow 90°* yang mempunyai rasio kelengkungan ( $R/D_h$ ) sebesar 1,5 dengan variasi  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ . Untuk mengidentifikasi penyebab perubahan *pressure drop* ( $\Delta p$ ) dapat dilihat dengan  $C_p$  dari satu titik dengan titik lain di dalam *elbow 90°*.  $C_p$  didapatkan dari data perbedaan tekanan pada *pressure tap inner* dan *outer elbow 90°* dengan kemiringan sudut sebesar  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$ .



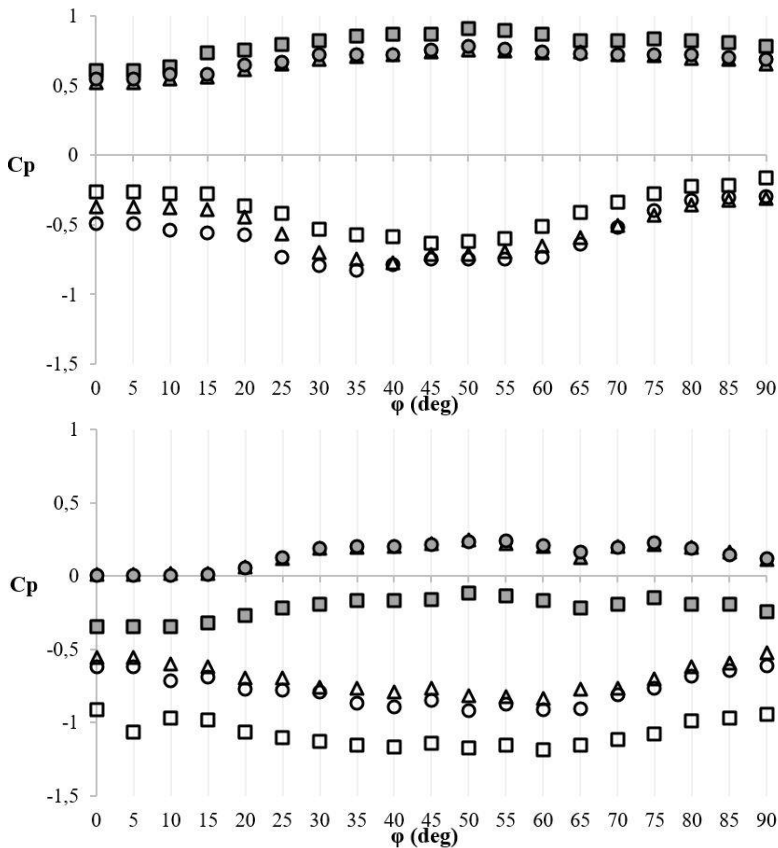
**Gambar 4.3** Distribusi *pressure coefficient* inner dan outer *elbow*  $90^\circ$  dengan variasi *gap inlet disturbance body* pada  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan  $C_p$  seiring dengan berubahnya peletakkan IDB pada  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ . Terjadi perbedaan distribusi  $C_p$  antara tanpa dan dipasang IDB. Distribusi  $C_p$  tanpa IDB lebih ke atas dibandingkan dipasang dengan variasi gap. Penambahan IDB dapat meningkatkan kecepatan di sisi *outer wall* dan mengurangi kecepatan di sisi *inner wall*. Perbandingan  $\Delta p$  dapat ditunjukkan dengan besar  $\Delta C_p$  pada setiap sudut kelengkungan *elbow*  $90^\circ$ .  $\Delta C_p$  merupakan selisih dari  $C_p$  pada sisi *outer wall* dan sisi *inner wall*. Apabila didapatkan  $\Delta C_p$  semakin kecil, maka  $\Delta p$  yang dihasilkan juga semakin kecil pula. Perhitungan  $\Delta C_p$  dengan menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut:

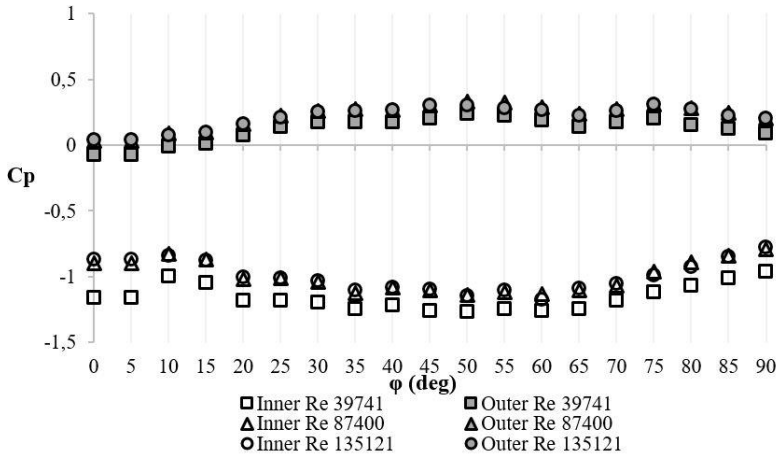
$$\Delta C_p = \left[ \left( \frac{C_{p_{outer\ outlet}} + C_{p_{inner\ outlet}}}{2} \right) - \left( \frac{C_{p_{outer\ inlet}} + C_{p_{inner\ inlet}}}{2} \right) \right] \quad (4.1)$$

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa penambahan IDB dapat meningkatkan dan menurunkan  $\Delta C_p$  tergantung variasi gap. Pada variasi  $g/d=0,2$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar  $-0,072$ , sedangkan

tanpa IDB didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,099 sehingga terbukti adanya IDB dapat menurunkan  $\Delta p$ . Penurunan  $\Delta C_p$  terbesar terjadi di sudut kelengkungan sebesar  $40^\circ$ . Penambahan IDB variasi  $g/d=0,2$  dapat menambah momentum aliran sehingga dapat melawan *advers pressure* di sisi *inner wall*. Pada variasi  $g/d=0,4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,139 sehingga dengan adanya IDB pada variasi gap tersebut dapat meningkatkan  $\Delta p$ . Peningkatan terbesar  $\Delta C_p$  terbesar pada sudut kelengkungan sebesar  $40^\circ$ . Terjadi penurunan  $C_p$  pada kelengkungan  $40^\circ$  mengindikasikan adanya aliran sekunder di sisi *outer wall*.







**Gambar 4.4** Distribusi *pressure coefficient* inner dan outer elbow 90° dengan variasi  $Re_{Dh}$  dan a) tanpa inlet disturbance body b) gap 0,2d c) gap 0,4d

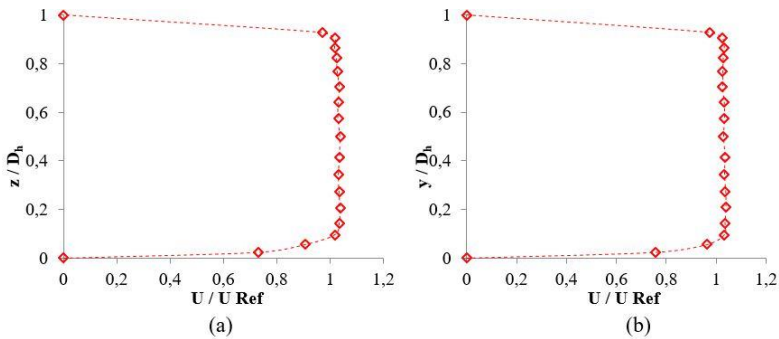
Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan distribusi  $C_p$  antara  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$ . Peningkatan  $Re_{Dh}$  dapat menyebabkan distribusi  $C_p$  lebih ke bawah. Saat terjadi peningkatan kecepatan aliran, maka tekanan yang ada di sisi *inner* maupun *outer wall* akan menurun. Perbandingan variasi  $Re_{Dh}$  pada gap tertentu bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran yang paling efektif yang memiliki  $\Delta p$  terkecil. Pada variasi  $g/d=0,2$  terlihat distribusi menyempit dibandingkan dengan variasi lainnya sehingga menyebabkan terjadinya penurunan  $\Delta p$ .

Pada gambar 4.4 (a) dapat dilihat bahwa terjadi perubahan distribusi  $C_p$  pada variasi tanpa IDB seiring dengan peningkatan  $Re_{Dh}$ . Pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,137,  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,099, dan  $Re$   $1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,167. Pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  terbesar di sudut kelengkungan sebesar 50°. Pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  terbesar di sudut kelengkungan sebesar 40°. Pada  $Re_{Dh}$   $1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  terbesar di sudut

kelengkungan sebesar  $35^\circ$ . Gambar 4.4 (b) menunjukkan distribusi  $C_p$  pada variasi  $g/d=0,2$  seiring dengan peningkatan  $Re$ . Pada  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,635,  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,602, dan  $Re_{Dh} 1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,678. Pada  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  terbesar di sudut kelengkungan sebesar  $50^\circ$ . Gambar 4.4 (c) menunjukkan distribusi  $C_p$  pada variasi  $g/d=0,4$  seiring dengan peningkatan  $Re_{Dh}$ . Pada  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,946,  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,963, dan  $Re_{Dh} 1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 1,208. Pada  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$  didapatkan  $\Delta C_p$  terbesar di sudut kelengkungan sebesar  $50^\circ$ . Pada gambar 4.4 (b) variasi  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$  di sisi *inner wall* sudut kelengkungan  $10^\circ$  terjadi kenaikan  $C_p$  yang menunjukkan timbulnya *reattachment point* karena penambahan IDB. Hal tersebut menyebabkan peningkatan momentum aliran sehingga dapat melawan *advers pressure* dan menunda separasi aliran di sisi *inner elbow*  $90^\circ$ . Penundaan separasi aliran dapat menyebabkan penurunan  $\Delta p$ .

#### 4.4 Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Sisi *Upstream Duct* pada Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$

Profil kecepatan pada sisi *upstream duct* digunakan sebagai acuan untuk menentukan gambaran proses *recovery* aliran daerah *upstream duct* pada *section* yang telah ditentukan. Profil kecepatan merupakan bilangan tak berdimensi yang terdiri dari perbandingan  $z/D_h$  pada *ordinat* horizontal atau  $y/D_h$  pada *ordinat* vertikal dan  $u/u_{ref}$  pada *absis*. Besar  $z/D_h$  atau  $y/D_h$  bernilai nol dimana searah dengan *inner upstream duct* dan bernilai 1 dimana searah dengan *outer upstream duct*. Sedangkan besar  $u/u_{ref}$  bergantung pada besar profil kecepatan pada suatu titik. Pengambilan data profil kecepatan dilakukan dengan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ )  $8,74 \times 10^4$  baik pada bidang horizontal dan vertikal.



**Gambar 4.5** Profil kecepatan upstream bidang (a) horizontal (b) vertikal

Dari gambar 4.5 (a) dapat dilihat bahwa pada sisi *inner upstream* dengan  $z/D_h$  nol dan satu memiliki nilai  $u/u_{ref}$  sebesar nol. Hal ini menandakan bahwa kondisi aliran menempel pada dinding baik *inner* maupun *outer* memiliki kecepatan nol atau diam. Kemudian terlihat profil kecepatan bergerak seragam pada posisi  $z/D_h$  0,09 sampai 0,9. Profil kecepatan *upstream* ini dijadikan acuan pengukuran dengan *section downstream duct* bidang horizontal. Pada gambar 4.5 (b) juga dapat dilihat bahwa sisi *inner upstream* dengan  $y/D_h$  nol dan satu memiliki nilai  $u/u_{ref}$  sebesar nol. Kemudian profil kecepatan bergerak seragam pada posisi  $y/D_h$  0,09 sampai 0,9. Profil kecepatan ini dijadikan acuan pengukuran dengan *section downstream duct* bidang vertikal.

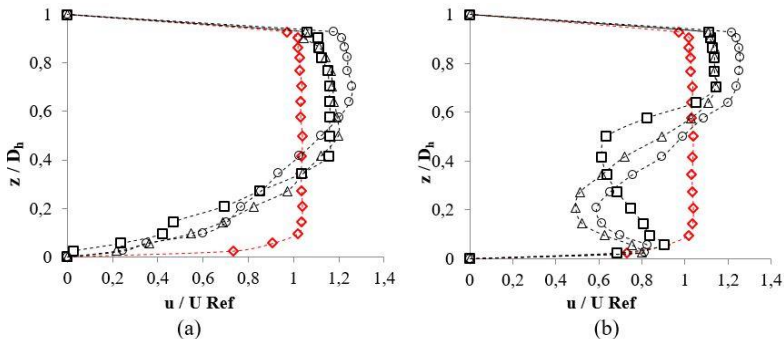
#### 4.5 Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Sisi *Downstream Duct* pada Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$

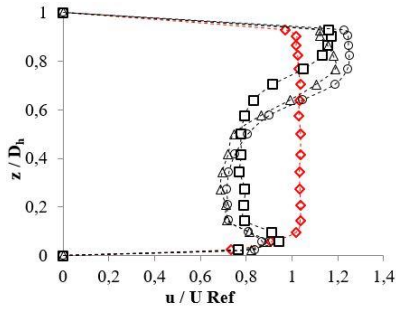
Pada sub bab ini menampilkan hasil grafik pengaruh dari adanya *elbow*  $90^\circ$  dan *inlet disturbance body* (IDB) terhadap profil aliran bidang horizontal dan vertikal pada sisi *downstream duct* dengan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ )  $8,74 \times 10^4$ . Profil kecepatan merupakan bilangan tak berdimensi yang terdiri dari perbandingan antara  $z/D_h$  bidang horizontal dan  $y/D_h$  bidang vertikal pada ordinat serta  $u/u_{ref}$  pada absis.  $z/D_h$  atau  $y/D_h$  mempunyai nilai

sebesar nol apabila searah dengan *inner downstream duct*, sedangkan sebesar satu apabila searah dengan *outer downstream duct*. IDB diletakkan di depan *inlet elbow 90°* mempunyai jarak  $(l/D_h)=0,1$  dari *inlet elbow 90°* yang mempunyai rasio kelengkungan  $(R/D_h)$  sebesar 1,5. Variasi pemasangan gap  $(g/d)$ , yaitu tanpa IDB,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . *Section upstream* dijadikan acuan ketika kondisi aliran mengalami profil yang *uniform* atau sudah mengalami proses *recovery* aliran.

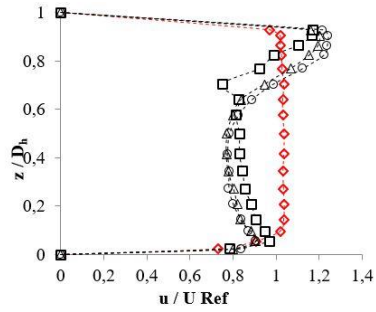
#### 4.5.1 Profil Kecepatan Bidang Horizontal Sisi Downstream Duct pada Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$

Profil kecepatan bidang horizontal pada sisi *downstream duct* diambil dari data *section 1* ( $x/D_h=0$ ),  $x/D_h=1$ ,  $x/D_h=2$ ,  $x/D_h=3$ ,  $x/D_h=4$ ,  $x/D_h=5$ ,  $x/D_h=8$ ,  $x/D_h=11$ ,  $x/D_h=12$ , dan  $x/D_h=13$ . Pengambilan data pada setiap *section* terdiri dari 17 titik dari *inner wall* sampai *outer wall*. Variasi IDB yang digunakan, yaitu tanpa IDB,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . Pengambilan data dilakukan pada  $Re_{D_h} 7,84 \times 10^4$ . Pada setiap *section*, aliran *freestream* digunakan sebagai acuan aliran sudah melalui proses *recovery*.

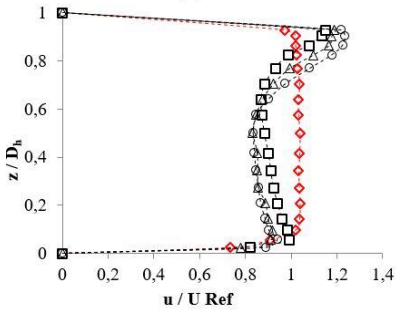




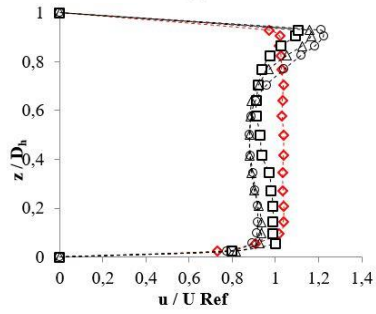
(c)



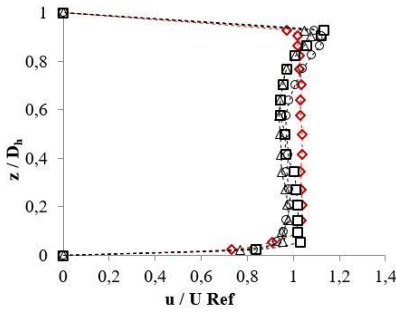
(d)



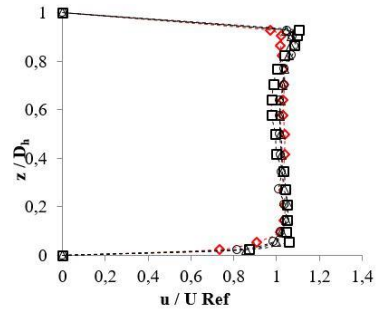
(e)



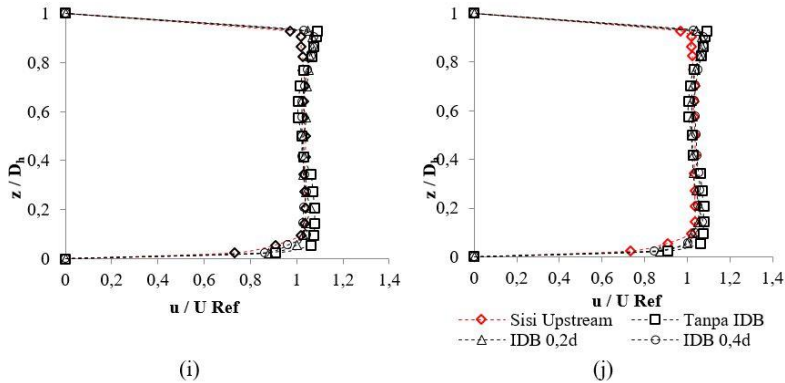
(f)



(g)



(h)



**Gambar 4.6** Profil kecepatan bidang horizontal pada a)  $x/D_h=0$  b)  $x/D_h=1$  c)  $x/D_h=2$  d)  $x/D_h=3$  e)  $x/D_h=4$  f)  $x/D_h=5$  g)  $x/D_h=8$  h)  $x/D_h=11$  i)  $x/D_h=12$  j)  $x/D_h=13$  dengan  $Re_{D_h} 8,74 \times 10^4$

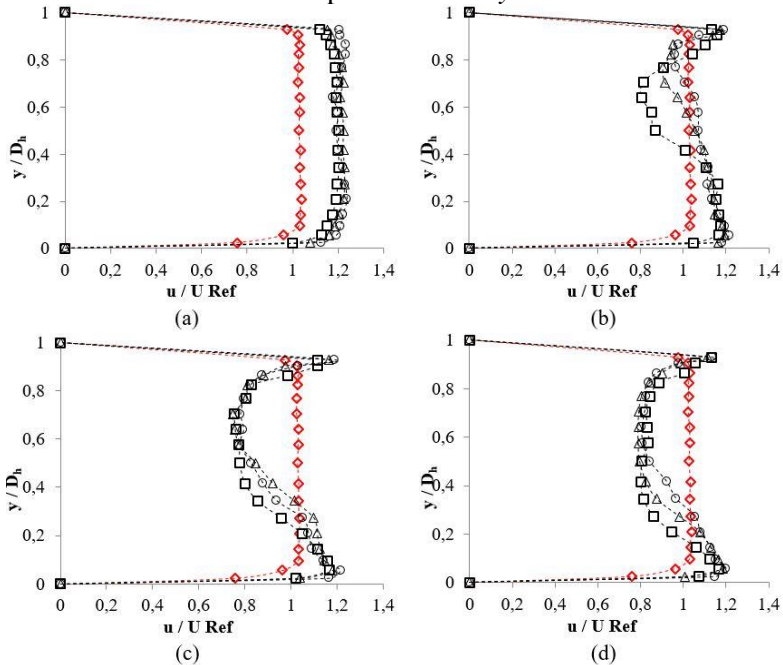
Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa profil kecepatan aliran setelah melewati *outlet elbow*  $90^\circ$  bidang horizontal dengan variasi tanpa *inlet disturbance body* (IDB), gap 0,2d, dan 0,4d. Profil kecepatan merupakan bilangan tak berdimensi yang terdiri dari  $z/D_h$  yang bernilai nol sampai satu pada *absis* dan  $u/u_{ref}$  yang bernilai sesuai dengan besar profil kecepatan pada *ordinat*.  $z/D_h$  bernilai nol menunjukkan bahwa posisi searah dengan sisi *inner downstream duct*, sedangkan  $z/D_h$  bernilai satu menunjukkan bahwa posisi searah dengan sisi *outer downstream duct*. Distribusi kecepatan pada *ordinat* menunjukkan bagaimana pengaruh tanpa IDB maupun variasi gap.

Distribusi profil kecepatan mulai terlihat beragam ketika melewati *outlet elbow*  $90^\circ$ , dimana terjadi perbedaan signifikan antara kecepatan sisi *inner* dan *outer*. Saat aliran telah melewati *elbow*  $90^\circ$ , sisi *inner* mulai mengalami separasi aliran sehingga kecepatan berkurang mengindikasikan adanya *backflow*. Pengaruh adanya *backflow* dapat mengurangi bidang alir sehingga menyebabkan kecepatan bertambah sampai mendekati sisi *outer elbow*  $90^\circ$ . Perbedaan tekanan karena kelengkungan *radius elbow*  $90^\circ$  juga mempengaruhi kecepatan aliran. Pada sisi *outer* memiliki

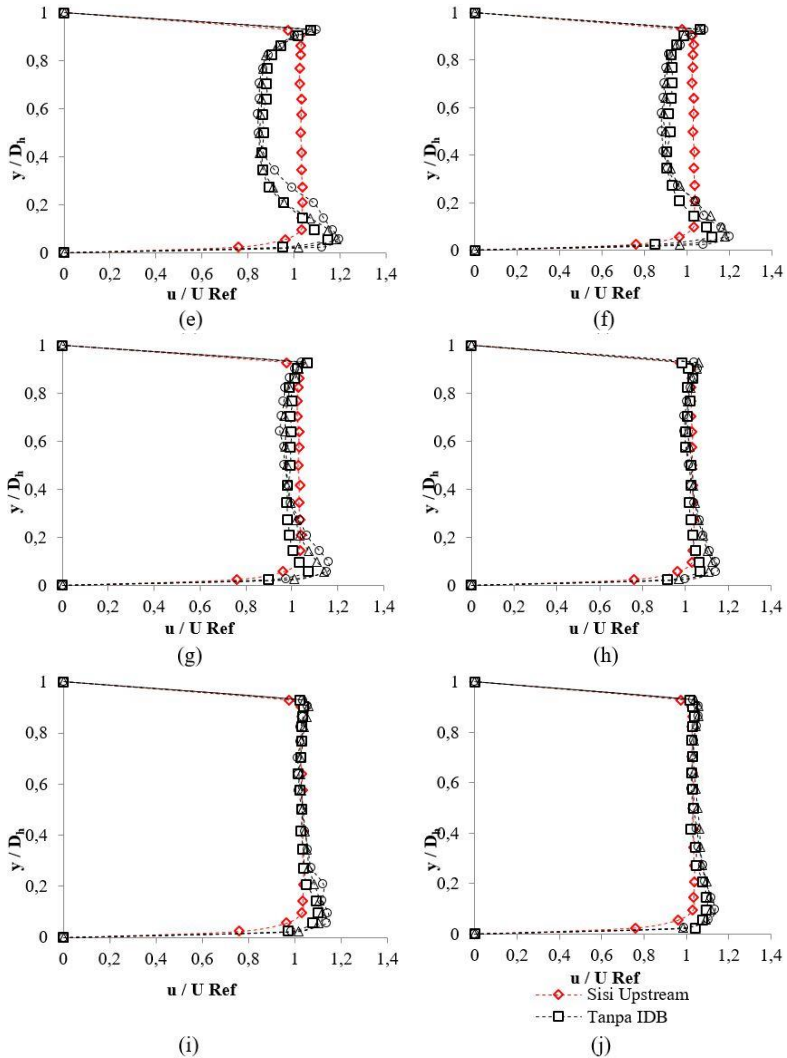
tekanan yang lebih besar sehingga menyebabkan aliran tangensial yang mengarah ke *inner wall*. Hal tersebut dapat menyebabkan *blockage effect* dan terlihat pada gambar 4.6 (a) aliran terbesar di daerah *centerline*. Kemudian perlambatan paling besar terjadi pada variasi tanpa IDB karena aliran lebih awal terseparasi. Penambahan IDB dapat menunda separasi aliran karena momentum aliran lebih kuat melawan *advers pressure* dan pengaruh terbesar ditunjukkan oleh variasi gap 0,2d. Pada  $x/D_h=1$  menunjukkan distribusi kecepatan aliran yang berubah signifikan. Terlihat efek dari *backflow* yang semakin besar pada semua variasi. Pada sisi *inner* efek *backflow* terbesar ditunjukkan oleh variasi gap 0,2d. Variasi tanpa IDB menunjukkan efek terbesar *backflow* pada posisi di *centerline*. Sedangkan pada *outer*, variasi gap 0,4d menunjukkan kecepatan tertinggi karena pengaruh dari IDB memberikan *shear layer* akibat separasi pada sisi *upper* maupun *lower* bodi IDB dengan intensitas turbulensi yang lebih tinggi sehingga mampu melawan *advers pressure*. Karena pengaruh *blockage effect*, sebagian aliran juga mengarah ke *outer wall* sehingga menambah kecepatan pada sisi *outer*. Aliran sekunder yang awalnya dominan terjadi pada sisi *inner* kemudian bergerak ke sisi *outer* menyebabkan pengaruh *backflow* semakin kuat. Hal tersebut berlanjut terjadi pada  $x/D_h=2$ ,  $x/D_h=3$ ,  $x/D_h=4$ , dan  $x/D_h=5$  dimana pada sisi *inner* kecepatan terbesar pada variasi tanpa IDB. Sedangkan pada sisi *outer* kecepatan terbesar pada variasi gap 0,4d. Setelah melewati  $x/D_h=5$ , profil kecepatan mengalami proses *recovery* dimana efek dari *backflow* dan *blockage* mulai hilang. Pada  $x/D_h=8$ , pada sisi *inner* kecepatan tertinggi masih terjadi pada variasi tanpa IDB. Sedangkan pada sisi *outer*, kecepatan tertinggi terjadi pada variasi gap 0,4d. Pada  $x/D_h=11$ ,  $x/D_h=12$ , dan  $x/D_h=13$  aliran mulai *uniform* seperti yang ditunjukkan oleh profil kecepatan *freestream*. Tetapi efek dari *backflow* masih terlihat tipis di area mendekati sisi *outer wall*. Pada sisi *inner* juga terlihat mempunyai kecepatan yang sedikit lebih cepat karena proses *recovery* aliran berawal dari sisi mendekati *inner wall*.

#### 4.5.2 Profil Kecepatan Bidang Vertikal Sisi *Downstream Duct* dengan Bilangan Reynolds $8,74 \times 10^4$

Profil kecepatan bidang vertikal pada sisi *downstream duct* diambil dari data *section 1* ( $x/D_h=0$ ),  $x/D_h=1$ ,  $x/D_h=2$ ,  $x/D_h=3$ ,  $x/D_h=4$ ,  $x/D_h=5$ ,  $x/D_h=8$ ,  $x/D_h=11$ ,  $x/D_h=12$ , dan  $x/D_h=13$ . Pengambilan data pada setiap *section* terdiri dari 17 titik dari *lower wall* sampai *upper wall*. Variasi IDB yang digunakan, yaitu tanpa IDB,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . Pengambilan data dilakukan pada  $Re_{Dh} 7,84 \times 10^4$ . Pada setiap *section*, aliran *freestream* digunakan sebagai acuan aliran sudah melalui proses *recovery*.







**Gambar 4.7** Profil kecepatan bidang vertikal pada a)  $x/D_h=0$  b)  $x/D_h=1$  c)  $x/D_h=2$  d)  $x/D_h=3$  e)  $x/D_h=4$  f)  $x/D_h=5$  g)  $x/D_h=8$  h)  $x/D_h=11$  i)  $x/D_h=12$  j)  $x/D_h=13$  dengan  $Re_{D_h} 8,74 \times 10^4$

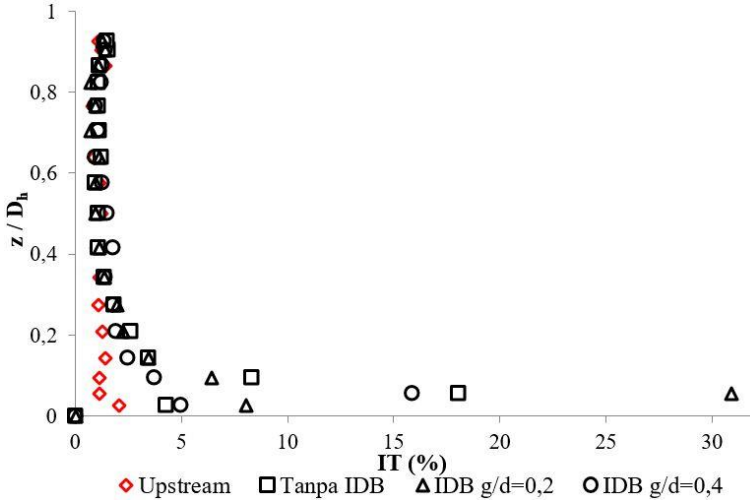
Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa profil kecepatan aliran setelah melewati *outlet elbow 90°* bidang vertikal dengan variasi tanpa *inlet disturbance body* (IDB), gap 0,2d, dan 0,4d. Profil kecepatan merupakan bilangan tak berdimensi yang terdiri dari  $y/Dh$  yang bernilai nol sampai satu pada *absis* dan  $u/u_{ref}$  yang bernilai sesuai dengan besar profil kecepatan pada *ordinat*.  $y/Dh$  bernilai nol menunjukkan bahwa posisi searah dengan sisi *lower downstream duct*, sedangkan  $y/Dh$  bernilai satu menunjukkan bahwa posisi searah dengan sisi *upper downstream duct*. Distribusi kecepatan pada *ordinat* menunjukkan bagaimana pengaruh tanpa pemasangan IDB maupun variasi gap.

Distribusi kecepatan aliran mulai terlihat berubah ketika melewati *outlet elbow 90°* dimana pada sisi mendekati  $y/Dh$  satu mengalami percepatan aliran pada semua variasi gap. Pada  $x/Dh=1$  terlihat perubahan distribusi kecepatan pada sisi *lower* maupun *upper wall*. Perlambatan aliran terjadi pada *upper wall* karena adanya pengaruh dari aliran sekunder sehingga terjadi *blockage effect*. Perlambatan terbesar terjadi pada variasi tanpa IDB. Kemudian pada  $x/Dh=2$ , pengaruh dari *blockage effect* mendekati *centerline*. Pada  $x/Dh=3$ , pengaruh dari *blockage effect* mendekati sisi *lower wall*. Perbaikan profil kecepatan mulai terjadi pada  $x/Dh=5$  tetapi masih terdapat percepatan pada sisi *lower wall*. Lalu, pada  $x/Dh=8$  sampai 13 terjadi proses *recovery* aliran. Pada  $x/Dh=13$ , variasi tanpa IDB paling mendekati profil *freestream* dan masih terlihat sedikit percepatan pada sisi *lower wall*. Hal tersebut membuktikan bahwa pengaruh aliran sekunder masih berpengaruh sampai akhir *section downstream square duct*.

#### **4.6 Intensitas Turbulensi Bidang Horizontal Sisi Setelah Outlet Elbow 90° dengan Bilangan Reynolds $7,84 \times 10^4$**

Intensitas turbulensi (IT) pada sisi *upstream duct* digunakan sebagai acuan untuk mengetahui gambaran momentum aliran pada satu *section* setelah *inlet elbow 90°*. Intensitas turbulensi merupakan bilangan tak berdimensi perbandingan *root mean square* dari fluktuasi kecepatan ( $u'$ ) terhadap kecepatan rata-rata

( $u_{avg}$ ). IT dinyatakan dalam bentuk prosentase. Pengambilan data IT pada bidang horizontal dengan bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ )  $7,84 \times 10^4$ .



**Gambar 4.8** Intensitas turbulensi bidang horizontal setelah *outlet elbow 90°*

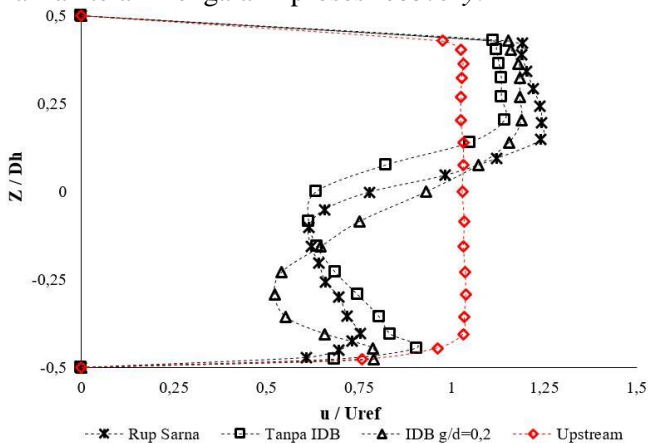
Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pemberian *inlet disturbance body* (IDB) berpengaruh terhadap fluktuasi IT. Pada sisi upstream terlihat IT yang *uniform* karena hanya terpengaruh oleh dinding lurus, sedangkan setelah adanya *elbow 90°* kecenderungan fluktuasi IT semakin meningkat pada sisi *inner wall*. Variasi IDB gap ( $g/d$ )=0,2 dapat meningkatkan IT, sedangkan variasi IDB  $g/d$ =0,4 dapat menurunkan IT. Ketika fluktuasi IT meningkat, maka momentum aliran di sisi *inner elbow 90°* dapat melawan *advers pressure* dan menunda separasi aliran.

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa peningkatan IT terjadi pada variasi  $g/d$ =0,2 dengan  $z/D_h$  0 sampai 0,2 mengalami peningkatan maksimal sebesar 30,92%, sedangkan pada variasi tanpa IDB hanya meningkatkan IT sebesar 18,02%. Pemberian IDB menghasilkan *shear layer* dengan IT yang lebih tinggi

sehingga mampu melawan *advers pressure* karena pengaruh adanya *elbow 90°*. Penurunan IT terjadi pada variasi  $g/d=0,4$  dengan  $z/D_h$  0 sampai 0,2 karena IT hanya mengalami peningkatan maksimal sebesar 15,89%. Adanya IDB variasi  $g/d=0,4$  menghasilkan separasi yang lebih awal sehingga daerah *backflow* di sisi *inner wall* semakin besar. Hal tersebut dapat menyebabkan kenaikan *pressure drop*.

#### 4.7 Perbandingan Hasil Profil Kecepatan dan Intensitas Turbulensi Antara Ekperimen dan Penelitian Rup & Sarna

Pada sub bab ini membahas tentang perbandingan hasil penelitian antara Rup&Sarna dan hasil eksperimen. Hasil yang dibanding, yaitu profil kecepatan horizontal pada  $x/D_h=1$  dan *pressure coefficient* ( $C_p$ ) pada *square elbow 90°*. Perbandingan hasil digunakan untuk mengetahui pengaruh dari rasio kelengkungan dan diameter hidrolis terhadap hasil profil kecepatan dan  $C_p$ . Pada profil kecepatan digunakan aliran *freestream* sebagai acuan aliran telah mengalami proses *recovery*.

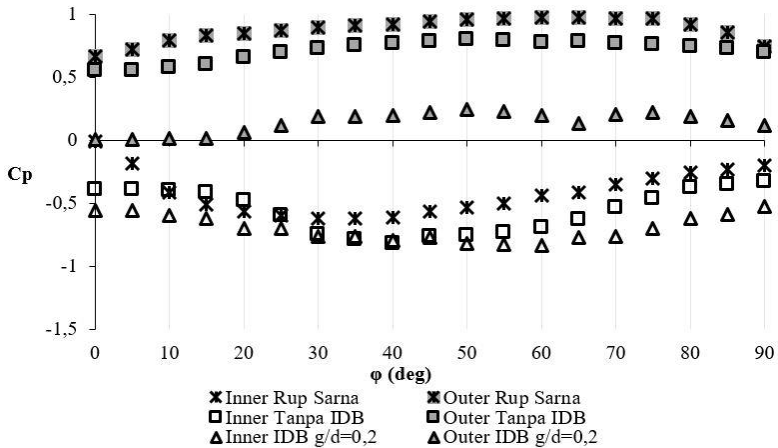


**Gambar 4.9** Perbandingan profil kecepatan bidang horizontal antara penelitian Rup & Sarna dan hasil eksperimen pada  $x/D_h=1$  dengan  $Re_{D_h} 8,74 \times 10^4$

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa terjadi distribusi profil kecepatan penelitian Rup & Sarna dengan hasil eksperimen pada  $x/D_h=1$ . Penelitian Rup & Sarna menggunakan bilangan Reynolds ( $Re_{D_h}$ )  $4 \times 10^4$ , sedangkan pada eksperimen digunakan  $Re_{D_h}$   $8,74 \times 10^4$ . Penelitian Rup & Sarna menggunakan diameter hidrolis ( $D_h$ ) sebesar 80 mm, sedangkan  $D_h$  pada eksperimen sebesar 125 mm. Rasio kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  yang digunakan pada Rup & Sarna sebesar 2, sedangkan pada eksperimen digunakan rasio kelengkungan ( $R/D_h$ )=1,5. Penelitian Rup & Sarna mempunyai panjang *upstream duct* sepanjang  $20D_h$  dan *downstream duct* sepanjang  $20D_h$ , sedangkan pada eksperimen mempunyai panjang *upstream duct* sepanjang  $7D_h$  dan *downstream duct* sepanjang  $15D_h$ .

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada sisi *inner wall* terjadi perlambatan aliran karena adanya *backflow*. Perlambatan terbesar terjadi pada eksperimen dengan gap ( $g/d$ )=0,2, tetapi mengalami efek terkecil dari *backflow* karena mampu menunda separasi aliran. Efek dari *backflow* paling terjadi pada variasi eksperimen tanpa *inlet disturbance body* (IDB). Hal tersebut karena separasi aliran terjadi lebih awal sehingga menimbulkan *blockage area* yang signifikan. Pada sisi *outer wall* terjadi percepatan karena adanya IDB dan *elbow*  $90^\circ$  menyebabkan aliran terseparasi sehingga kecenderungan kecepatan aliran meningkat. Penelitian Rup & Sarna memiliki kecepatan terbesar pada sisi *outer wall*.

Untuk mengetahui perbedaan *pressure drop* di dalam *elbow*  $90^\circ$  dengan menganalisis grafik  $C_p$  seperti yang ditunjukkan gambar 4.10. Adanya perubahan distribusi  $C_p$  dan perbedaan nilai  $\Delta C_p$  pada sudut yang berbeda disebabkan oleh kelengkungan *elbow*  $90^\circ$ . Distribusi  $C_p$  dipengaruhi perbedaan  $R/D_h$  dan  $Re_{D_h}$ , serta penambahan IDB di dalam saluran. Dari variasi tersebut didapatkan kondisi paling efektif menurunkan *pressure drop*.



**Gambar 4.10** Perbandingan pressure coefficient antara penelitian Rup & Sarna dan hasil eksperimen pada  $x/D_h=1$  dengan  $Re_{D_h}$   $8,74 \times 10^4$

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa perbedaan distribusi *pressure coefficient* ( $C_p$ ) antara penelitian Rup & Sarna dan hasil eksperimen. Penelitian Rup & Sarna menggunakan  $Re_{D_h}$   $9,21 \times 10^4$ , sedangkan pada eksperimen digunakan  $Re_{D_h}$   $8,74 \times 10^4$ . Penelitian Rup & Sarna hanya menggunakan *elbow*  $90^\circ$ , sedangkan pada eksperimen digunakan *elbow*  $90^\circ$  dan IDB variasi  $g/d=0,2$ . Distribusi  $C_p$  pada Rup & Sarna lebih ke atas karena efek dari rasio kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  lebih besar daripada eksperimen.

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pada penelitian Rup & Sarna didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,052. Hasil eksperimen tanpa IDB didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,105, sedangkan variasi  $g/d=0,2$  didapatkan  $\Delta C_p$  sebesar 0,072. Dari perhitungan  $\Delta C_p$ , pada penelitian tanpa IDB menghasilkan *pressure drop* paling besar. Variasi paling efektif pada penelitian Rup&Sarna karena menghasilkan *pressure drop* paling kecil. Pemberian IDB dapat menghasilkan *shear layer* yang mempunyai intensitas turbulensi yang tinggi sehingga mampu melawan *advers pressure* atau menunda separasi aliran karena kelengkungan *inner elbow*  $90^\circ$ .

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *inlet disturbance body* (IDB) variasi  $g/d=0,2$  dapat menurunkan *pressure drop* ( $\Delta p$ ) sebesar 20,52%. Penurunan  $\Delta p$  paling efektif terjadi pada bilangan Reynolds ( $Re_{Dh}$ )  $8,74 \times 10^4$ . Penurunan terjadi karena meningkatnya momentum aliran sehingga lebih mampu melawan *advers pressure* di sisi *inner elbow*  $90^\circ$ . Sedangkan penambahan IDB variasi  $g/d=0,4$  dapat meningkatkan  $\Delta p$ . Peningkatan terjadi karena separasi di sisi *inner elbow*  $90^\circ$  menjadi lebih awal dan menghasilkan *blockage area* yang lebih besar.
2. Penambahan IDB dapat menurunkan *loss coefficient elbow*  $90^\circ$  pada setiap variasi  $Re_{Dh}$ . Penurunan paling efektif terjadi pada variasi  $g/d=0,2$ . Penurunan yang kurang efektif terjadi pada variasi  $g/d=0,4$  karena adanya peningkatan  $\Delta p$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  sampai  $1,35 \times 10^5$  menyebabkan kenaikan *loss coefficient*. *Loss coefficient* turun ketika  $\Delta p$  pada *elbow*  $90^\circ$  mengalami penurunan.
3. Penambahan IDB variasi  $g/d=0,2$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  mengakibatkan penurunan  $\Delta Cp$ . Penurunan  $\Delta Cp$  terbesar terjadi pada sudut kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  sebesar  $40^\circ$ . Adanya IDB variasi  $g/d=0,2$  dapat menambah momentum aliran sehingga mampu melawan aliran sekunder di sisi *outer elbow*  $90^\circ$ . Peningkatan  $\Delta Cp$  terjadi pada IDB variasi  $g/d=0,4$ . Peningkatan  $\Delta Cp$  terbesar terjadi pada sudut kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  sebesar  $40^\circ$ . Variasi tanpa IDB terjadi peningkatan terbesar  $\Delta Cp$  pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$  di sudut kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  sebesar  $50^\circ$ . Peningkatan  $\Delta Cp$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$ , peningkatan terbesar di sudut kelengkungan *elbow*  $90^\circ$  sebesar

40°. Peningkatan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $1,35 \times 10^5$ , peningkatan terbesar di sudut kelengkungan *elbow* 90° sebesar 35°. Variasi IDB  $g/d=0,2$  terjadi peningkatan  $\Delta C_p$  terbesar pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$  di sudut kelengkungan *elbow* 90° sebesar 50°. Penurunan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$ , sedangkan peningkatan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $1,35 \times 10^5$ . Variasi IDB  $g/d=0,4$  terjadi peningkatan  $\Delta C_p$  terbesar pada  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$  di sudut kelengkungan *elbow* 90° sebesar 50°. Penurunan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$ , sedangkan peningkatan  $\Delta C_p$  pada  $Re_{Dh}$   $1,35 \times 10^5$ .

4. Profil kecepatan bidang horizontal sisi *downstream* pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  dengan variasi tanpa IDB,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . Setelah melewati *outlet elbow* 90° sampai  $x/Dh=5$ , profil kecepatan pada sisi *inner wall* mengalami perlambatan karena adanya *backflow area* yang ditimbulkan dari separasi aliran. Penambahan IDB dapat menyebabkan penundaan separasi aliran karena *shear layer* yang dihasilkan IDB memiliki intensitas turbulensi yang lebih tinggi sehingga lebih mampu melawan *advers pressure*. Penambahan IDB paling efektif pada variasi  $g/d=0,2$ . Pada sisi *outer wall* mempunyai tekanan yang lebih besar sehingga timbul aliran tangensial yang menyebabkan *blockage effect*. Kecepatan aliran tertinggi pada  $x/Dh=8$  di sisi *inner wall* pada variasi tanpa IDB, sedangkan di sisi *outer wall* pada variasi  $g/d=0,4$ . Profil kecepatan aliran mulai *uniform* mendekati *freestream* pada  $x/Dh=11$  sampai 13. Variasi  $g/d=0,2$  yang paling mendekati *freestream* pada  $x/Dh=13$ .
5. Profil kecepatan bidang vertikal sisi *downstream* pada  $Re_{Dh}$   $8,74 \times 10^4$  dengan variasi tanpa IDB,  $g/d=0,2$ , dan  $g/d=0,4$ . Setelah melewati *outlet elbow* 90°, profil kecepatan mengalami percepatan. Pada  $x/Dh=1$  terlihat perlambatan di sisi *upper wall* karena pengaruh aliran sekunder. Pada  $x/Dh=2$  sampai 3, efek dari *blockage area* mendekati *lower wall*. Kemudian pada  $x/Dh=5$  terjadi percepatan di sisi *lower wall*. Lalu, pada  $x/Dh=8$  sampai 13 terjadi proses *recovery* aliran.



Pada  $x/Dh=13$ , variasi tanpa IDB paling mendekati *freestream* tetapi masih ada sedikit pengaruh dari aliran sekunder di sisi *lower wall*.

## 5.2 Saran

Saran yang diperlukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Pengecekan alat ukur dan penggunaan voltase listrik yang stabil sangat dianjurkan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
2. Pengaturan suhu, kelembapan, dan kebersihan lingkungan kerja diperlukan agar pengganggu tidak mempengaruhi proses pengambilan data.
3. Adanya kajian tentang eksperimen penambahan IDB pada sisi *inner* dan *outer wall* sebelum *inlet elbow 90°* untuk mengetahui pengaruh IDB dalam upaya mengurangi aliran sekunder pada sisi *outer wall*.
4. Adanya kajian penambahan IDB dengan bentuk *diamond*, *elips*, atau ulir untuk mengetahui bentuk pengganggu yang paling efektif dalam mengurangi *pressure drop*.

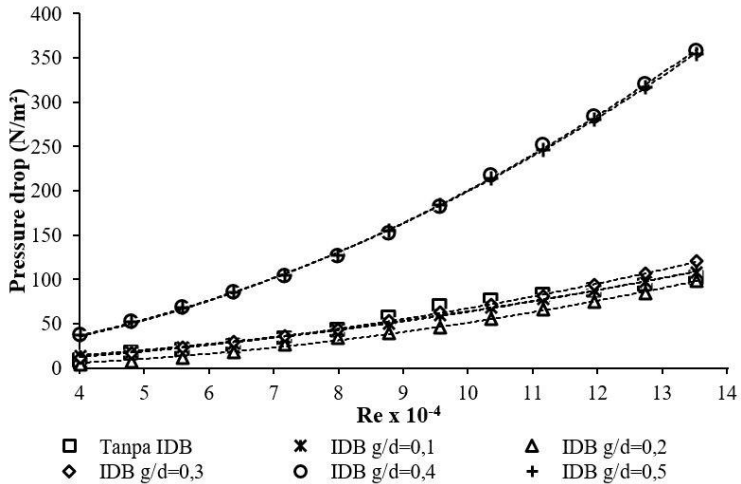
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

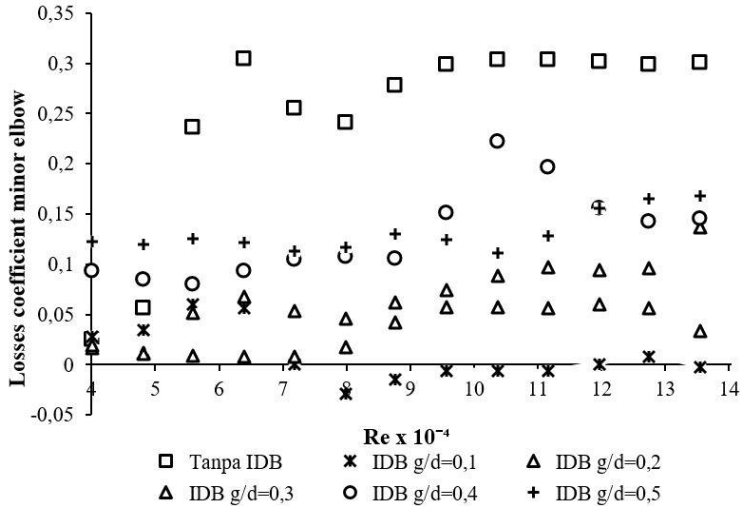
- [1] Andrew, J N. 2016. **Studi Eksperimen Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° Dengan Double Guide Vane Pada Variasi Sudut Bukaam Damper.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Dutta, P. & Nandi, N. 2015. ***Effect of Reynolds Number and Curvature Ratio On Single Phase Turbulent Flow In Pipe Bends.*** India: Indian Institute of Engineering Science and Technology.
- [3] Eduard, W., R. 2016. **Studi Eksperimen Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° Dengan Variasi Sudut Bukaam Damper.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. 2011. ***Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition.*** New York : John Wiley & Sons Inc.
- [5] H. Choi & J. Lee. 2010. ***Ground Effect of Flow Arround an Elliptic Cylinder in a Turbulent Boundary Layer.*** Korea: Pohang University of Science and Technology Pohang.
- [6] Miller, D.S. 1990. ***Internal Flow System, 2<sup>nd</sup> edition.*** Bedford: BHRA.
- [7] Nakayama Y., dan Boucher R.F. 1998. ***Introduction to Fluid Mechanics.*** Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [8] Rup, K., & Sarna, P. 2011. ***Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow.*** Cracow: Elsevier.
- [9] Sutardi, dkk. 2010. ***Experimenteal Study on the Effect of Guide Vane Insertion and Reynolds Number on the Flow Pressure Drop in a 90° Rectangular Elbow.*** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

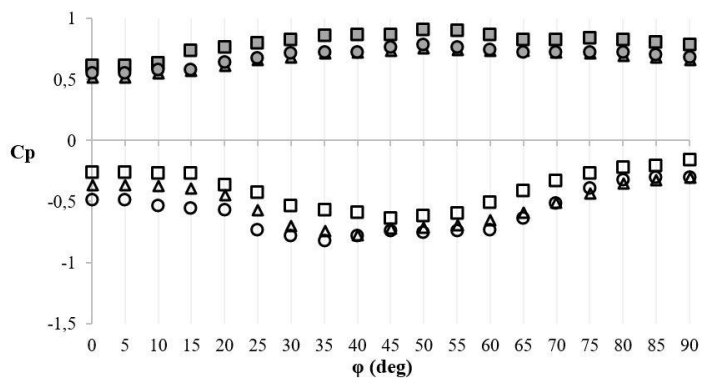
## LAMPIRAN



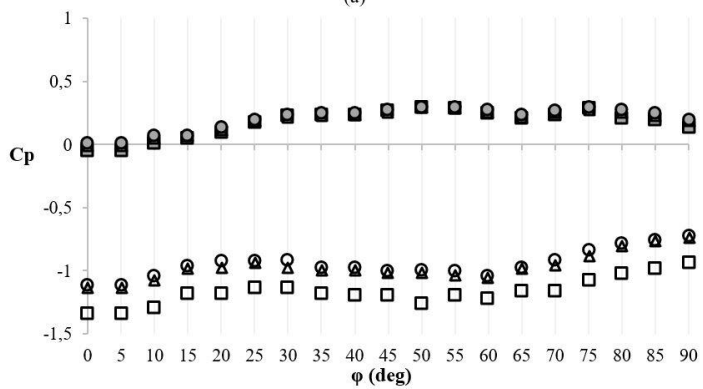
**Lampiran 1** Pressure drop tanpa IDB,  $g/d = 0,1$ ,  $g/d = 0,2$ ,  $g/d = 0,3$ ,  $g/d = 0,4$ , dan  $g/d = 0,5$  dengan  $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,35 \times 10^5$



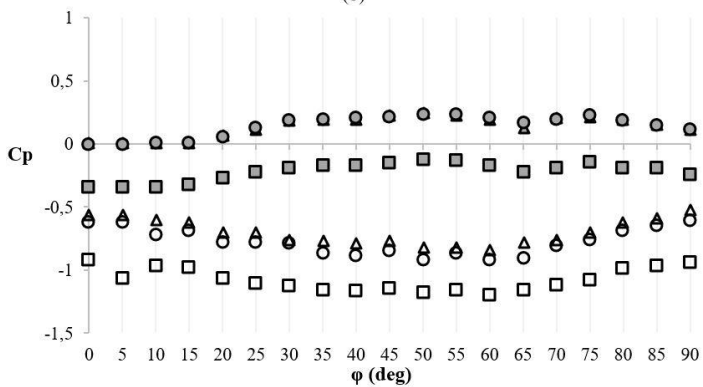
**Lampiran 2** Loss coefficient tanpa IDB,  $g/d = 0,1$ ,  $g/d = 0,2$ ,  $g/d = 0,3$ ,  $g/d = 0,4$ ,  $g/d = 0,5$  dengan  $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,35 \times 10^5$



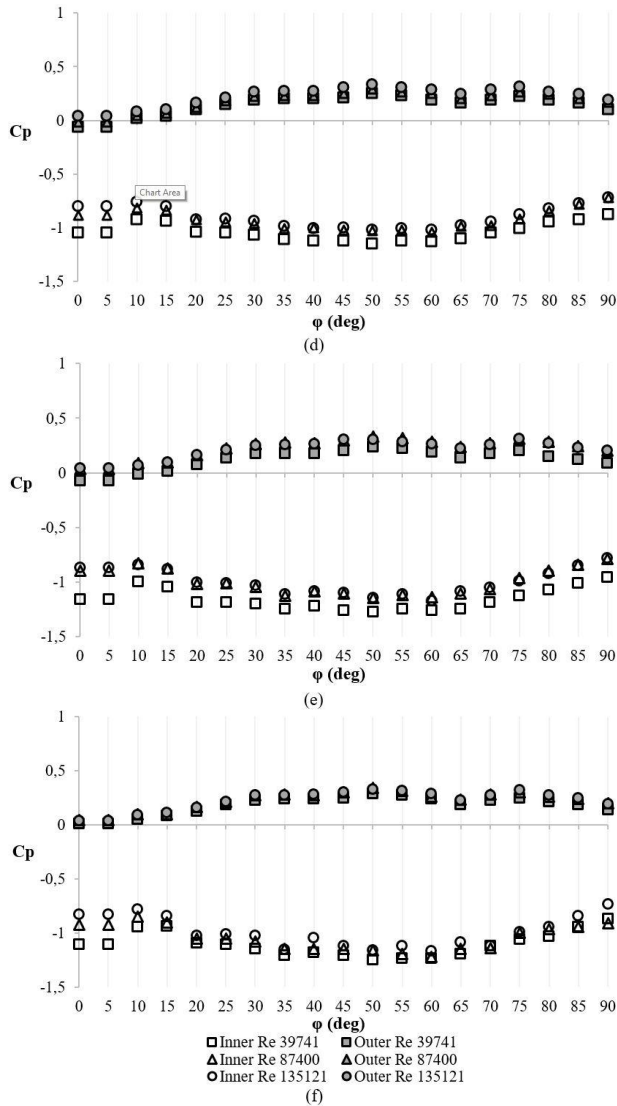
(a)



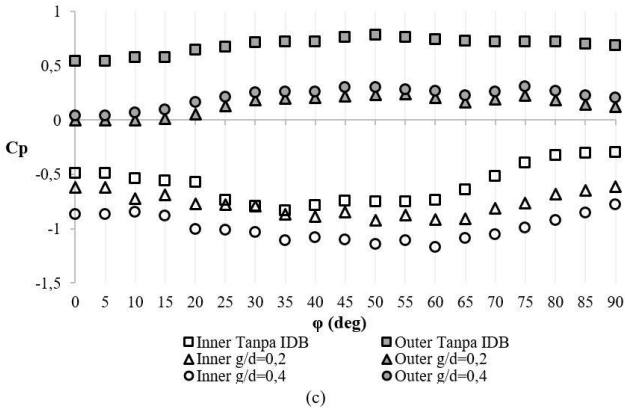
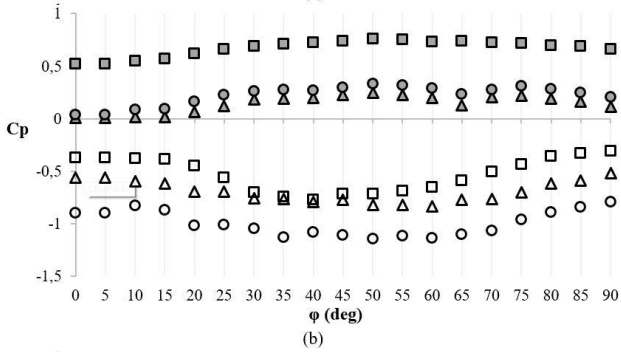
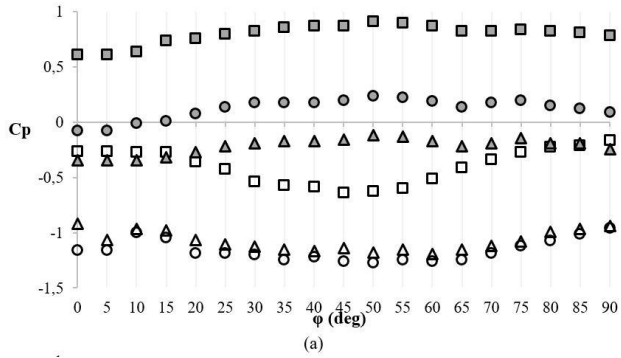
(b)



(c)

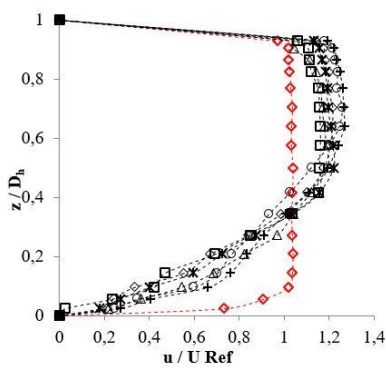


**Lampiran 3** *Pressure coefficient* (a) tanpa IDB (b)  $g/d = 0,1$  (c)  $g/d = 0,2$  (d)  $g/d = 0,3$  (e)  $g/d = 0,4$  (f)  $g/d = 0,5$  dengan variasi  $Re_{Dh}$   $3,97 \times 10^4$ ,  $8,74 \times 10^4$ , dan  $1,35 \times 10^5$

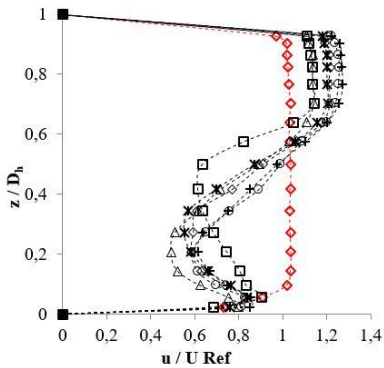


**Lampiran 4** *Pressure coefficient* tanpa IDB,  $g/d = 0,2$ ,  $g/d = 0,4$  dengan variasi (a)  $Re_{Dh} 3,97 \times 10^4$  (b)  $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$ , dan (c)  $Re_{Dh} 1,35 \times 10^5$

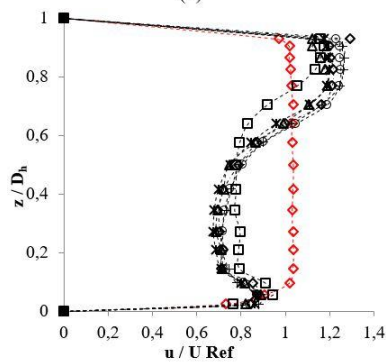




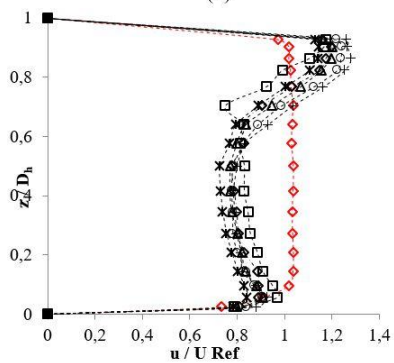
(a)



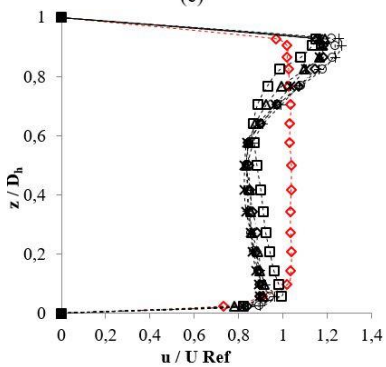
(b)



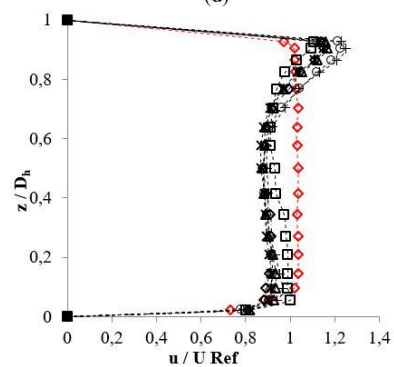
(c)



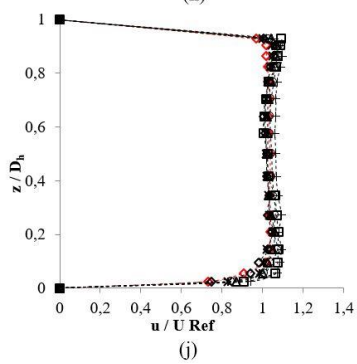
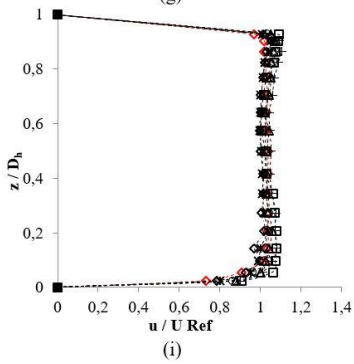
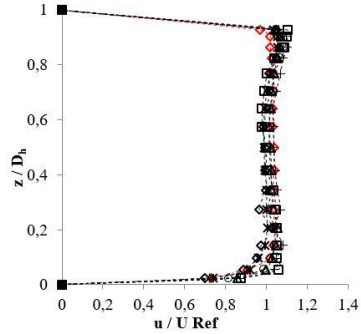
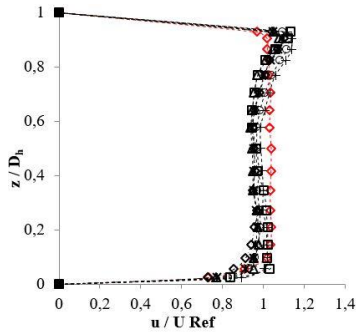
(d)



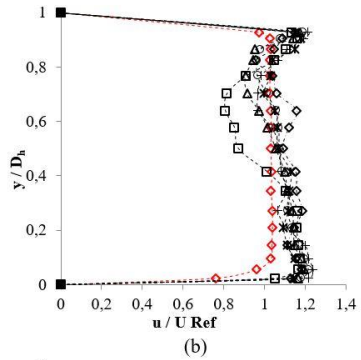
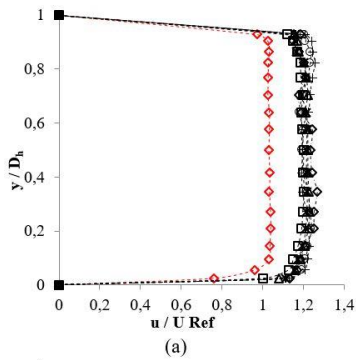
(e)

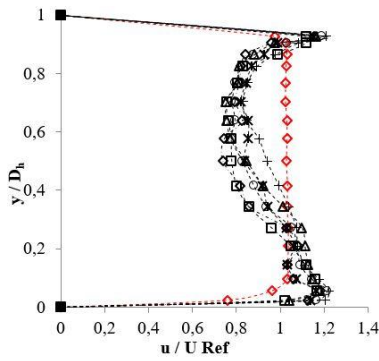


(f)

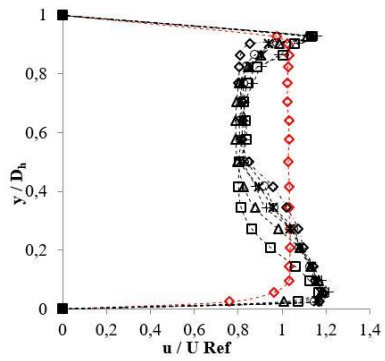


**Lampiran 5** Profil kecepatan bidang horizontal pada a)  $x/D_h=0$  b)  $x/D_h=1$  c)  $x/D_h=2$  d)  $x/D_h=3$  e)  $x/D_h=4$  f)  $x/D_h=5$  g)  $x/D_h=8$  h)  $x/D_h=11$  i)  $x/D_h=12$  j)  $x/D_h=13$  dengan  $Re_{D_h} 8,74 \times 10^4$

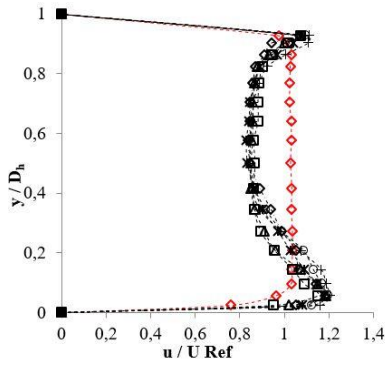




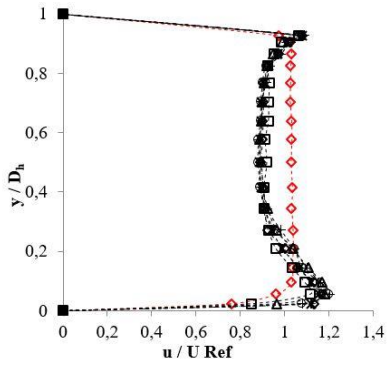
(c)



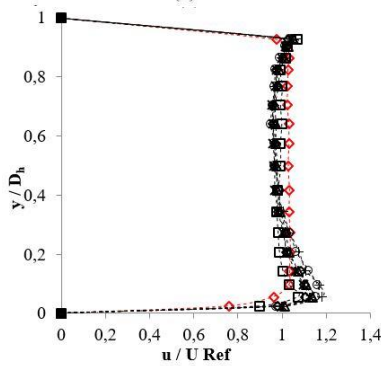
(d)



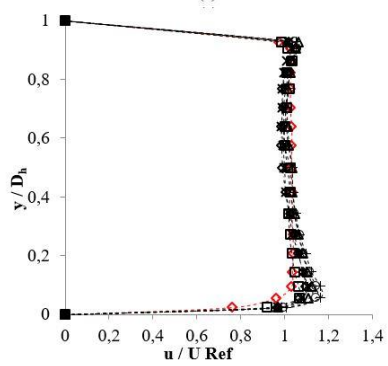
(e)



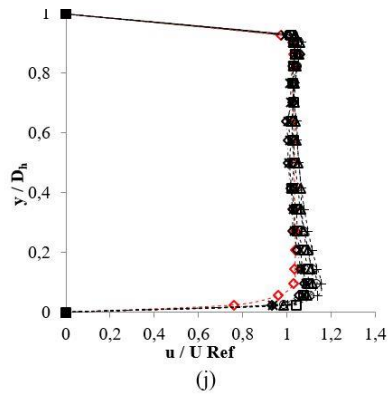
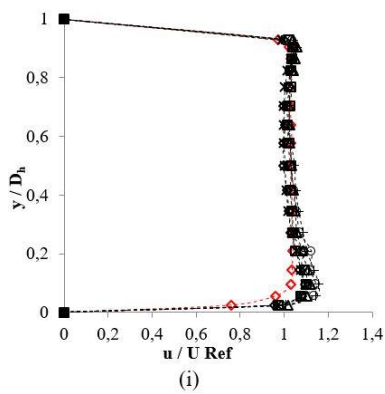
(f)



(g)



(h)



**Lampiran 6** Profil kecepatan bidang vertikal pada a)  $x/D_h=0$   
b)  $x/D_h=1$  c)  $x/D_h=2$  d)  $x/D_h=3$  e)  $x/D_h=4$  f)  $x/D_h=5$  g)  $x/D_h=8$   
h)  $x/D_h=11$  i)  $x/D_h=12$  j)  $x/D_h=13$  dengan  $Re_{D_h} 8,74 \times 10^4$

## BIODATA PENULIS



**Rizkia Putra Pratama** dilahirkan di Madiun, 23 Juli 1994 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Pangusi dan Sumilah. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Sepanjang II Sidoarjo pada tahun 2000-2006. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 22 Surabaya pada tahun 2006-2009, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 15 Surabaya pada tahun 2009-2012. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur tulis.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff Departemen KESMA Himpunan Mahasiswa Mesin ITS pada tahun 2012-2013. Pada tahun 2014-2015, penulis aktif menjadi Ketua Biro Finansial KESMA Himpunan Mahasiswa Mesin ITS.

Motto hidup penulis adalah “Hidup berguna untuk orang lain” menjadikan penulis lebih bersemangat dan berusaha keras untuk senantiasa memberikan manfaat dan berguna bagi agama, nusa dan bangsa. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [rizkiaputra23@gmail.com](mailto:rizkiaputra23@gmail.com).

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***